
R. BIBL. NAZ.
Vitt. Emanuele III
Racc.
Paladino
B
85
NAPOLI

PHYSIOLOGIE

DU

SYSTÈME NERVEUX.

TOME II.

LA NÉVROLOGIE, ou Description des nerfs du corps humain, par le docteur SWAN; ouvrage couronné par le collége royal des chirurgiens de Londres, traduit de l'anglais, avec des additions, par E. CHASSAIGNAC, D. M., prosecteur à la Faculté de Médecine de Paris; accompagné de 25 belles planches gravées à Londres avec le plus grand soin. Paris, 1838, in-4, grand papier vélin, cartonné. 24 fr.

Cet ouvrage a acquis un grand intérêt par les nombreuses et importantes additions qu'y a faites M. Chassaignac, lesquelles, jointes à des planches d'une exécution parfaite, en font un livre indispensable pour l'étude si intéressante du système nerveux.

TRAITÉ COMPLET DE PHYSIOLOGIE, par F. TIÉDEMANN, professeur d'anatomie et de physiologie à l'Université de Heidelberg; traduit de l'allemand par A.-J.-L. JOURDAN, D. M. Paris, 1831, 2 vol. in-8. 14 fr.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES, physiologiques et chimiques sur la digestion, considérée dans les quatre classes d'animaux vertébrés, par TIÉDEMANN et L. GMELIN, professeurs à l'Université de Heidelberg; traduites de l'allemand par A.-J.-L. Jourdan. Paris, 1827, 2 vol. in-8, avec un grand nombre de tableaux. 15 fr.

HISTOIRE GÉNÉRALE et particulière des Anomalies de l'organisation chez l'homme et les animaux; ouvrage comprenant des recherches sur les caractères, la classification, l'influence physiologique et pathologique, les rapports généraux, les lois et causes des MONSTRUOSITÉS, des variétés et vices de conformation, ou Traité de Tératologie, par Isid. Geoffroy Saint-Hilaire, membre de l'Institut de France. Paris, 1832-1836, 3 vol. in-8 et atlas de 20 planches. 27 fr.

RECHERCHES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES sur l'organe de l'Ouïe et sur l'Audition dans l'homme et les animaux vertébrés, par G. BRESCHET, professeur d'anatomie à la Faculté de Médecine de Paris. Paris, 1836, in-4, avec 13 planches gravées. 16 fr.

RECHERCHES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES sur l'organe de l'Ouïe des poissons, par G. BRESCHET. Paris, 1838, in-4, avec 17 planches gravées. 12 fr.

MÉMOIRES pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des Végétaux et des Animaux, par H. DUTROCHET, membre de l'Institut, avec cette épigraphe : « Je considère comme non avenu tout ce que j'ai publié précédemment sur ces matières, et qui ne se trouve point reproduit dans cette collection. » Paris, 1837, 2 forts vol. in-8, avec atlas de 30 planches gravées. 24 fr.

MÉMOIRE SUR LA CONFORMITÉ ORGANIQUE dans l'échelle animale, par Ant. DUGÈS, professeur à la Faculté de Médecine de Montpellier. Paris, 1832, in-4, avec 6 planches. 6 fr.

RECHERCHES SUR L'OSTÉOLOGIE et la Myologie des Batraciens à leurs différens âges, par A. DUGÈS. *Ouvrage couronné par l'Institut de France.* Paris, 1834, in-4, avec 20 planches gravées. 16 fr.

Paris. — COSSON, Imprimeur de l'Académie royale de médecine, rue Saint-Germain-des-Prés, 9.

PHYSIOLOGIE

DU

SYSTÈME NERVEUX,

OU

RECHERCHES ET EXPÉRIENCES

SUR LES DIVERSES CLASSES D'APPAREILS NERVEUX, LES MOUVEMENS, LA VOIX, LA PAROLE, LES SENS ET LES FACULTÉS INTELLECTUELLES,

PAR J. MULLER,

PROFESSEUR D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE A L'UNIVERSITÉ DE BERLIN.

Traduite de l'allemand, sur la troisième édition,

PAR A.-J.-L. JOURDAN,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE MÉDECINE.

Accompagnée de 80 figures intercalées dans le texte, et de quatre planches gravées.

TOME SECOND.



A PARIS,

CHEZ J.-B. BAILLIÈRE,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE MÉDECINE,

RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, 17;

A LONDRES, CHEZ H. BAILLIÈRE, 219, REGENT-STREET.

1840.

PHYSIOLOGIE

DU

SYSTÈME NERVEUX.

Section troisième.

De la voix et de la parole.

Les sons qui constituent la voix et la parole n'ont point pour cause proprement dite des mouvemens musculaires. Ils dépendent des vibrations d'un appareil particulier, comparable à un instrument de musique. Cependant c'est à des contractions musculaires que cet appareil doit le degré de tension nécessaire à la production de ces sons, dont l'élevation et la succession se rapportent aussi à la même cause. Sous ce point de vue donc, l'histoire de la voix et de la parole doit succéder immédiatement à celle des mouvemens. Mais, avant de l'étudier, il est indispensable de connaître les conditions générales de la formation du son.

CHAPITRE PREMIER.

Des conditions générales de la production du son.

Une impulsion mécanique soudaine, communiquée à l'organe de l'ouïe, peut faire naître en nous une sensation auditive, telle que celle d'une explosion, si l'action a été violente, ou celle d'un bruit, si cette action a été faible. L'écoulement rapide d'un air comprimé et l'affluence également rapide de l'air

ordinaire dans un espace vide, produisent l'impression du son sur l'organe de l'ouïe, lorsque l'ébranlement du fluide aérien est transmis à cet appareil. Mais, pour que des sons d'une valeur soutenue et comparable soient produits, il suffit d'un certain mode d'impulsion mécanique, c'est-à-dire d'une impulsion uniforme qui se répète avec rapidité dans un très-court espace de temps. De la fréquence des impulsions ou chocs dépend la sensation du degré d'élévation des sons.

La plupart du temps, lorsque nous entendons des sons, c'est parce que les vibrations d'un corps résonnant se sont propagées jusques dans l'intérieur de l'oreille et transmises au nerf auditif. Or, en partant du fait que les corps qui résonnent sont élastiques, soit par leur cohérence, comme les corps rigides, soit par leur pression ou force expansive, comme les gaz, soit enfin par leur tension, comme les cordes, on est tenté d'admettre que les vibrations sont la seule cause essentielle de la production du son. Mais on prendrait une idée bien fausse de ce dernier si l'on croyait qu'un mouvement vibratoire finalement communiqué au nerf auditif lui-même, est nécessaire pour faire naître la sensation du son. La cause prochaine de cette sensation semble bien plutôt, même pour les sons dus à des oscillations de corps résonnans, tenir aux chocs, régulièrement reproduits par l'effet des mouvemens vibratoires, qui se transmettent au nerf acoustique. C'est ce qu'on peut conclure de la considération des sons qui naissent, non de vibrations d'un corps élastique, mais de simples chocs se succédant avec rapidité. Si l'on présente une languette de bois aux dents d'une roue qui tourne sur elle-même, chacun des chocs produit une impulsion sur l'organe auditif, et par-là donne lieu à la sensation d'un bruit ; mais si la roue tourne avec beaucoup de vitesse, au lieu de chocs isolés, on perçoit un son, dont l'acuité croît avec la rapidité des chocs. Les sons qu'on peut produire par le moyen d'un courant de gaz ou de liquide, d'eau ou de mercure, rapide-

ment et régulièrement interrompu, sont d'nn plus grand intérêt encore pour faire connaître la cause essentielle à laquelle tient la production du son, et pour prouver que celle-ci dépend d'une succession rapide de chocs; ils acquièrent même d'autant plus d'importance, que les liquides, n'ayant point d'élasticité, sont impropres à produire des sons par des vibrations analogues aux oscillations d'un pendule. Ces conditions se trouvent réunies dans la Sirène imaginée par Cagniard La Tour. Là, un courant de liquide qui s'écoule par une ouverture est interrompu momentanément par chaque dent d'une roue tournant avec vitesse sur elle-même; si la roue se trouve placée sous l'eau, et qu'elle ne fasse que déterminer des interruptions rapides et régulières du courant amené de bas en haut par pression, les chocs qui résultent de là produisent, lorsqu'ils se succèdent avec assez de rapidité, un son clair, dont l'acuité croît avec la vitesse des interruptions ou chocs.

Sous le point de vue de l'organe de la voix humaine, les corps qui nous intéressent le plus sont ceux qui donnent, par des vibrations, le nombre nécessaire de chocs rapidement répétés. Il n'y a que les corps élastiques qui soient susceptibles de produire ainsi des sons. Une impulsion communiquée à l'une de leurs parties se propage au tout, et fait exécuter au corps des oscillations semblables à celles d'un pendule; les chocs déterminés par les vibrations se communiquent aux corps qui sont en contact avec celui-là, et parviennent ainsi, de proche en proche, à l'organe auditif.

A mesure que les sons deviennent plus aigus, le nombre des vibrations augmente. Le son le plus grave dont on fasse usage en musique, l'*ut* du tuyau d'orgue de trente-deux pieds donne, par seconde, 32 vibrations de l'air contenu dans le tuyau; l'*ut* des octaves suivantes en donne 64, 128, 256, etc. Comme il n'importe en rien que les impulsions soient dues au choc des dents d'une roue ou aux vibrations d'un corps, l'instrument imaginé par Savart, et dans lequel les sons sont

déterminés par les chocs des dents d'une roue contre un corps, fournit un moyen facile de connaître avec précision le nombre des vibrations que chaque son comporte.

Les vibrations d'un corps résonnant peuvent avoir lieu dans toute son étendue. Mais ce corps peut aussi se diviser en parties aliquotes, qui vibrent suivant des directions opposées, tandis que les points d'intersection, appelés nœuds de vibration, demeurent en repos. Des chevrons de papier posés sur les nœuds ne remuent point. Les vibrations peuvent aussi varier de direction, être transversales, longitudinales, ou tournantes. Un exemple de vibrations transversales nous est fourni par une corde tendue entre deux points et oscillant d'un côté à l'autre, ou par une verge métallique fixée à l'un de ses bouts. Dans les vibrations longitudinales de l'air, des cordes et des verges, qu'on détermine sur ces dernières en les frottant suivant leur longueur, les molécules du corps éprouvent, l'une après l'autre, une contraction et une expansion alternatives, qui, une fois arrivées à l'extrémité, ou au nœud de vibration, reviennent sur elles-mêmes. Les vibrations tournantes n'ont été observées par Chladni que dans les verges.

Les corps qui résonnent par vibrations sont ou des fluides élastiques, comme l'air ; ou des corps élastiques par tension, comme les cordes tendues ; ou des corps solides élastiques par eux-mêmes, comme les verges métalliques et les disques de métal ou de verre. Les lois d'après lesquelles les vibrations productives du son ont lieu dans ces différentes classes de corps résonnans, sont d'une grande importance pour l'établissement de la théorie de la voix humaine. Nous allons les passer rapidement en revue, afin de reconnaître à quelle classe d'instrumens sonores appartient l'organe vocal de l'homme. Nous suivrons surtout pour cela les recherches de Chladni, de Biot, de Savart et de W. Weber. Nous rapporterons aussi quelques observations qui nous sont propres sur ceux des

instrumens de musique qui ont le plus d'affinité avec l'organe de la voix humaine.

I. Corps solides élastiques.

Ces corps sont élastiques, les uns par tension, comme les cordes et les membranes tendues; les autres, par eux-mêmes, comme les verges et les plaques métalliques. Tantôt on n'a égard qu'à l'épaisseur et à la longueur, comme pour les corps qui sont filiformes; tantôt on prend en considération plusieurs dimensions, comme pour ceux qui sont membraniformes. Les cordes sont des corps filiformes élastiques par tension, et les membranes tendues sont des corps membraniformes devant leur élasticité à la même cause. Les verges métalliques, droites ou courbes, sont des corps filiformes élastiques par eux-mêmes; les plaques droites ou courbes, comme les cloches, sont des corps membraniformes possédant l'élasticité en eux-mêmes.

A. *Corps élastiques par tension.*

1. *Corps filiformes élastiques par tension; cordes.*

Le nombre des vibrations augmente à mesure que la longueur de leurs arcs diminue, comme il arrive aux oscillations du pendule, et avec le nombre des vibrations croît l'élévation du son.

Quand la corde tendue vibre en plein, c'est-à-dire dans toute sa longueur, elle donne le son le plus grave qu'on puisse obtenir d'elle, et qui porte aussi le nom du son fondamental. Lorsque, sans rien changer à sa tension, on la divise en deux parties égales, à l'aide d'un chevalet placé en dessous, le son produit est l'octave du son fondamental, et il résulte d'un nombre de vibrations double de celui qui donne naissance à ce dernier. Si, la tension restant toujours la même, on isole un quart de la corde, et qu'on le fasse résonner, on obtient la

seconde octave du son fondamental, résultat d'un nombre quadruple de vibrations. A égalité de tension, d'épaisseur et de substance, les nombres des vibrations des cordes dans un temps donné sont réciproques aux longueurs. Pour les cordes de même longueur, mais inégalement tendues, ces nombres sont directement proportionnels aux carrés des poids qui les tendent.

Les nombres des vibrations pour les sons compris entre le son fondamental et la première octave s'obtiennent, la tension demeurant la même, en raccourcissant la corde, et ramenant sa longueur aux fractions comprises entre 2 et 1. Ainsi, en supposant que le nombre des vibrations du son fondamental soit à celui de l'octave :: 1 : 2, ceux des sons compris dans la gamme se comportent de la manière suivante :

1	$9/8$	$5/4$	$4/3$	$3/2$	$5/3$	$15/8$	2.
ut,	*ré*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*,	*ut.*
Son fondamental.		Tierce.		Quinte.			Octave.

Tandis qu'une corde exécute, dans toute sa longueur, le nombre de vibrations propre au son fondamental, elle peut en même temps faire, par ses parties aliquotes, des vibrations rapides qui correspondent à d'autres sons plus aigus. En effet, quand on frappe un monocorde, instrument à l'aide duquel on évite les sons provenant de la résonnance d'autres cordes voisines, on entend, avec un peu d'attention, non seulement le son fondamental, mais encore quelques autres, particulièrement ceux qui ont des rapports numériques simples avec le premier, par exemple, la quinte de l'octave et la tierce de la double octave.

Si l'on appuie légèrement le doigt sur une corde tendue, à l'extrémité du tiers, du quart, du cinquième, etc., de sa longueur, de manière à faire naître en cet endroit un nœud de vibration, et qu'ensuite on y applique un archet de violon, il se forme aussi des nœuds de vibration entre les autres tiers, quarts ou cinquièmes, et, au lieu du son fondamental, la corde

donne les sons plus aigus, appelés *flûtés*, qui correspondent à ces longueurs et à leurs nombres de vibrations.

Comme on peut, pour faire produire des sons graves aux cordes, suppléer à ce qui leur manque du côté de la longueur, en diminuant leur tension, afin qu'elles fassent moins de vibrations dans un temps donné, la théorie indique qu'on parviendrait à produire tous les sons avec une corde très-courte en changeant sa tension. Cependant, lorsque les cordes sont détendues, elles vibrent avec trop d'irrégularité, à cause de leur défaut ordinaire d'élasticité, pour qu'il soit encore possible d'obtenir d'elles un son grave quand elles sont très-raccourcies et détendues. Mais celles auxquelles le défaut de tension n'enlève pas toute élasticité, par exemple celles en caoutchouc, peuvent encore être aptes, même lorsqu'elles sont très-courtes, à donner des sons graves, et des lames élastiques tendues dans une certaine direction, sont également propres, malgré leur brièveté extrême, à produire des sons très-purs, lorsqu'elles limitent une fente étroite et que l'air, pressé en passant au devant d'elles, les maintient en vibration. Je reviendrai là-dessus en parlant des instrumens à anche.

2. *Corps membraniformes élastiques par tension.*

Les membranes tendues dans un seul sens sont soumises aux mêmes lois que les cordes, pour ce qui concerne les changemens de leurs sons. On ne connaît pas bien encore la loi d'après laquelle les nombres des vibrations varient selon la grandeur et la tension dans les membranes tendues de tous les côtés. On sait que l'élévation du son augmente en général avec la tension. Une connaissance plus approfondie de la manière dont vibrent ces instrumens serait sans importance pour la théorie de la voix humaine. Les ligamens inférieurs de la glotte représentent des membranes tendues dans un seul sens; nous

examinerons plus tard si leur petitesse permet qu'ils produisent des sons clairs à eux seuls et sans le concours de l'air.

B. *Corps élastiques par eux-mêmes.*

1. *Verges droites ou courbes.*

Les vibrations de ces verges ressemblent à celles des cordes. L'élasticité des verges rigides remplace la tension des cordes; aussi vibrent-elles également, qu'elles soient fixées aux deux bouts ou à un seulement. On fait résonner ces verges ou languettes en les frappant. Si les lames, en métal ou en bois, sont assez minces, elles peuvent aussi être mises en vibration par un courant d'air, quand ce fluide vient à être pressé entre elles et un châssis dans lequel elles sont encadrées. C'est le cas des tuyaux à anche. Les sons que ces languettes sont aptes à produire seules obéissent aux mêmes lois que ceux qui proviennent des verges libres. Nous reviendrons là-dessus en traitant des instrumens à anche. On a un exemple d'une simple languette sans tuyau, mise en vibration par le courant d'air, dans le petit instrument appelé *harmonica à bouche*, dont on peut aussi faire parler les languettes au moyen d'un soufflet.

L'élévation des sons, ou le nombre des vibrations, change, dans les verges, suivant une autre loi que dans les cordes. En effet, elle est proportionnelle aux épaisseurs et réciproque aux carrés des longueurs.

2. *Corps membraniformes rigides, droits et courbes; plaques, cloches.*

L'organe de la voix n'a d'analogie ni avec les corps filiformes ni avec les corps membraniformes élastiques par eux-mêmes; nous pouvons donc abandonner de suite ces agens de la production du son.

II. Fluides élastiques; air.

Les vibrations de l'air, quand il résonne, consistent en une

succession rapide de condensations et de dilatations alternatives qui, dans le jeu de flûte de l'orgue, suivent une direction longitudinale. Dans la plupart des instrumens à vent, l'air est l'agent producteur du son, parce qu'il éprouve le long de l'instrument des ondulations alternativement condensantes et raréfiantes, qui, parvenues à l'extrémité de la colonne, se réfléchissent sur elles-mêmes. La vitesse des ondes, c'est-à-dire des condensations et dilatations alternatives, demeure la même en général, que le tuyau soit large ou étroit ; elle dépend uniquement, ou du moins principalement, de la longueur de ces mêmes ondes, ou de l'espace à parcourir. Cependant les luthiers ont reconnu par l'expérience qu'il faut raccourcir un peu les tuyaux du jeu de flûte de l'orgue, si l'on veut qu'ils conservent le même son avec une ampleur plus grande, et Savart a trouvé qu'à longueur égale la colonne d'air donne des sons beaucoup plus graves dans des tuyaux élastiqnes mous que dans des tuyaux rigides : on peut même, en ramollissant les parois à l'aide de la vapeur d'eau, fait baisser le son de deux octaves au dessous de sa hauteur ordinaire.

Le principe d'un sifflet consiste en ce que la colonne d'air contenue dans un tuyau est mise en vibration par un conrant d'air poussé contre une partie de sa surface. La manière la plus simple de remplir cette condition, est de souffler sur l'orifice d'un tuyau, par exemple d'une clef forée. La même chose a lieu pour la flûte, avec cette différence qu'ici ce n'est point à son extrémité que la colonne d'air est mise en vibration, mais au devant de cette extrémité et sur les côtés. Dans les sifflets, l'air qu'on souffle traverse l'étroit canal de la portion qu'on tient entre les lèvres, et, en sortant par l'ouverture latérale, il fait vibrer la colonne d'air contenue dans le tuyau. Les tuyaux cylindriques ou quadrangulaires de l'orgue qui appartiennent aux jeux de flûte ou de mutation, ont une construction analogue. L'air seul est le corps sonore dans ces instrumens. Des sifflets d'égale longueur, en bois, en métal, en

carton, donnent les mêmes sons, avec un timbre différent. Une fois que la colonne d'air a été mise en vibration par le souffle dirigé sur sa surface, il faut que le courant d'air continue, si l'on veut obtenir le nombre de vibrations nécessaire pour faire entendre un son. Du reste, dans ces sortes d'instrumens, il n'y a jamais courant d'air à travers le tuyau, mais seulement vibration de l'air qu'il renferme, ce qui fait que les flûtes peuvent être bouchées à leur extrémité. Le plus simple mode de vibration de l'air dans les sifflets fermés à l'extrémité est celui qui consiste en ce que la longueur des ondes égale celle du tuyau, de manière qu'il ne se produise pas de nœuds dans l'intérieur de ce dernier : son bout fermé fait office de nœud. Si le tuyau est ouvert à l'extrémité, sa longueur étant égale à celle d'un tuyau fermé, il donne un son fondamental plus élevé d'une octave que celui de ce dernier, et un nœud de vibration se trouve dans son milieu.

Du reste, l'élévation des sons change en raison directe de la longueur du tuyau bouché ou ouvert. Cependant, la même colonne d'air donne des sons plus aigus lorsqu'on souffle avec plus de force, parce qu'il se produit des nœuds de vibration sur la longueur. Biot et Hamel ont montré comment la force du souffle influe sur l'augmentation du nombre des nœuds. Les sons qu'on parvenait à tirer ainsi d'un tuyau bouché étaient :

ut_1, sol_2, mi_3, $la\sharp_3+$, $ré_4$, $fa\sharp_4-$, $la\flat_4+$, si_4.
1 3 5 7 9 11 13 15.

dont les nombres de vibrations correspondent à la suite des nombres impairs. Dans un tube ouvert à l'extrémité, les sons produits par un souffle plus fort augmentant le nombre des nœuds, correspondaient, au contraire, à la simple série des nombres naturels = 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc. Ce ne fut qu'en soufflant faiblement ils obtinrent le son fondamental d'un tube de verre long de trente-sept pouces, sur un pouce de diamètre, sol_3. Les sons qu'ils obtenaient en changeant l'embouchure étaient :

sol$_3$ *sol*$_4$ *ré*$_5$ *sol*$_5$ *si*$_5$ *ré*$_6$ *fa*$_6$ *sol*$_6$ *ut*$_7$ *ré*$_7$.
1 2 3 4 5 6 $7^1/_9$ 8 $10^2/_3$ 12.

On voit, d'après cette série, que les sons qu'on peut tirer d'un tuyau ouvert, en soufflant différemment, sont d'autant plus éloignés les uns des antres qu'il sont plus voisins du son fondamental, et qu'à mesure que le ton s'élève, les sons qu'on obtient sont plus rapprochés. Entre le son fondamental 1 et la première octave, qui correspond au nombre 2, il n'y a point de son intermédiaire. Entre la première octave et la seconde, qui a pour nombre de vibrations 4, se trouve déjà un son. Entre la seconde octave 4 et la troisième 8, il y en a trois, etc.

Les lois qui viennent d'être posées s'appliquent, en général, non seulement à l'air atmosphérique, mais encore à tous les gaz. Cependant il faut remarquer que les sons fondamentaux des colonnes d'air diffèrent selon la pesanteur et la densité du fluide; car, d'après l'expérience des luthiers, il suffit de tenir un même tuyau pendant long-temps entre les mains, pour que le son fondamental soit déjà un peu modifié. Selon la théorie, les sons, à longueurs égales, devraient être réciproques aux racines carrées des densités des gaz, sous d'égales pressions et à une même température; mais l'expérience donne un résultat un peu différent.

L'embouchure du tuyau exerce aussi quelque influence sur le changement du son fondamental, comme l'ont fait voir Biot et Hamel. Ces physiciens employèrent un sifflet quadrangulaire, long de quatre pieds, large de quatre pouces, et bouché à l'extrémité. L'ouverture occupait toute la largeur, et pouvait être prolongée en haut par le moyen d'un coulisseau. Les sons produits furent les suivans:

Grandeur de l'ouvert.,	66,0	36,5	26,0	20,5	16,5	14,0	3,8
Sons produits,	*ut*$_2$	*sol*$_3$	*mi*$_4$	*si*$_4$	*ré*$_5$	*fa*$_6$	*fa*$_7$

66,00 parties de l'ouverture font un pouce carré. Les sons produits correspondent aux nombres de vibrations 1, 3, 5, 7,

9, 11, 13. Le résultat du rétrécissement de l'embouchure est donc le même dans la flûte bouchée que celui qu'on opère en changeant le souffle : on ne peut donc point obtenir d'octaves de cette manière.

L'influence de l'embouchure sur le son du sifflet ne me paraît pas être encore parfaitement éclaircie par l'expérience. Il y a, en effet, une manière de couvrir l'embouchure qui fait qu'on peut abaisser assez notablement le son. Si j'applique sur la lèvre supérieure d'un tuyau à bouche cylindrique en laiton, une carte qui couvre en partie l'ouverture, je puis abaisser le son de plus d'un ton au dessous du son fondamental; mais si, en appliquant la carte, j'ai soin qu'elle fasse le toit sur l'ouverture, le son peut être rendu bien plus grave encore, et d'autant plus que la carte en forme de toit s'abaisse davantage vers l'ouverture. On obtient de cette manière tous les sons les plus rapprochés au dessous du son fondamental, jusqu'à quelques tons entiers; ce ne sont pas par conséquent des sons correspondans aux nombres 1, 1/3, 1/5, 1/7. Si j'enfonce le bouchon du sifflet assez pour que le tuyau n'ait plus que deux pouces, le son de ce tuyau de deux pouces peut, en couvrant l'embouchure en forme de toit, être abaissé de *ré*$_{5}$ jusqu'à *sol*$\sharp_{4}$, c'est-à-dire de près d'une quinte, et les sons intermédiaires sortent avec facilité, suivant le plus ou moins d'inclinaison du toit étendu sur l'embouchure. Il est possible aussi, sur un sifflet quadrangulaire d'un pied, d'abaisser le ton au moyen d'une couverture en toit mise sur l'embouchure.

Tout ce qui vient d'être dit s'applique aux tuyaux sans trous latéraux. Mais les flûtes proprement dites peuvent être jugées d'après les mêmes principes. Ce sont des tuyaux ouverts, à l'aide desquels, quand tous les trous latéraux sont bouchés, on parvient, en variant la force du souffle, à produire tous les sons correspondans aux nombres de vibrations 1, 2, 3, 4, 5. L'ouverture successive des trous latéraux permet aussi d'obtenir les sons intermédiaires. En ouvrant chacun d'eux, on

élève le son fondamental, et cette élévation varie suivant la grandeur du trou, suivant aussi la distance à laquelle il se trouve du commencement de l'instrument.

La question se présente enfin de savoir si, par l'emploi des divers moyens à l'aide desquels on parvient à abaisser le son fondamental d'un sifflet de longueur donnée, il est possible de produire des sons tellement graves, que même un tuyau fort peu long en donne encore qui aient quelque gravité quand on souffle très-faiblement. Si le tuyau est bouché en partie, il se rapproche d'un tuyau couvert, dont le son fondamental est plus grave d'une octave entière, et en couvrant l'embouchure avec un toit, on réussit, comme je l'ai dit plus haut, à abaisser le ton de près d'une quinte. La faiblesse du souffle n'augmente pas la gravité du son d'un sifflet ordinaire jusqu'à lui faire dépasser ce qu'on appelle le son fondamental; mais peut-être y a-t-il des moyens par l'emploi desquels un souffle encore plus faible produirait des vibrations encore plus lentes avec assez de régularité pour qu'elles fussent entendues comme sons. L'appeau des oiseleurs paraît produire cet effet, quoiqu'ici les moyens soient tout autres que ceux qu'il faut employer dans les sifflets ordinaires pour tirer des sons plus graves. Cet instrument, en ivoire et en laiton, a plus de largeur que de longueur : il est long de quatre lignes, sur huit à neuf de large. Son extrémité antérieure et son extrémité postérieure sont fermées par une plaque mince, dont le milieu offre une ouverture par laquelle l'air s'écoule, de manière que le courant du fluide parcourt l'axe de la cavité du tuyau. Savart a examiné cette espèce de sifflet. Suivant lui, le son s'y produit parce que le courant d'air qui traverse les deux orifices, chassant devant lui la petite masse de fluide contenue dans la cavité de l'instrument, en diminue la force élastique, et la rend par conséquent incapable de faire équilibre à la pression de l'atmosphère, qui, en réagissant sur elle, la refoule et la comprime jusqu'à ce que, par son propre ressort, et sous l'influence du courant qui continue toujours, elle su-

bisse une nouvelle raréfaction, suivie d'une seconde condensation, et ainsi de suite. En modifiant la force avec laquelle on souffle dans cet instrument, on peut faire varier les sons dans l'étendue d'une octave et demie à deux octaves, depuis ut_{2} jusqu'à ut_{4}, et quand on sait se bien rendre maître de la vitesse du courant d'air, on parvient à pousser beaucoup plus loin encore l'élévation et l'abaissement des sons. On peut doubler, quadrupler ou diminuer le volume de l'instrnment, sans que les résultats changent d'une manière notable. Lorsque les dimensions sont plus grandes et les parois plus minces, il est plus facile d'obtenir des sons graves; cependant chaque instrument en a un qu'il donne avec plus de facilité que tous les autres. La direction des bords de l'ouverture change les sons. Lorsque les bords sont dirigés obliquement vers l'intérieur de la cavité, les sons ont, en général, plus de gravité. Le diamètre des orifices influe aussi sur eux; leur gravité augmente quand ces orifices sont plus larges. Nous ne possédons pas encore une théorie des vibrations qui ont lieu dans cet instrument; on ne sait point non plus si l'air est réellement le corps qui vibre le premier, et si l'instrument n'appartient pas plutôt à la catégorie des anches, dont nous aurons à parler plus loin. Dans les anches ordinaires, il y a deux dimensions à considérer, l'épaisseur et la longueur de la languette; si l'une des plaques percées agit comme anche, elle représenterait une anche dans laquelle les trois dimensions, longueur, épaisseur et largeur, entreraient en jeu, comme dans les plaques résonnantes. Au reste, l'appeau peut, de même que l'anche, être adapté à un tuyau, et les sons qui résultent de là se comportent comme ceux qu'on obtient en unissant des anches ordinaires avec des tuyaux, c'est-à-dire que le son n'est plus celui de l'anche, mais l'un des sons possibles du tuyau qui se rapproche le plus de celui de cette anche. La suite des sons, quand on varie le souffle, est, dans toute combinaison de l'appeau avec un tuyau, 1, 2, 3, 4, 5, etc., comme dans un soufflet ouvert.

III. Instrumens dans lesquels entrent à la fois en jeu les propriétés de corps élastiques solides et celles de corps élastiques fluides. Instrumens à anche.

Il y a des agens producteurs de sons qui consistent en une simple languette vibrante, mise en mouvement par un courant d'air comprimé, comme la lame métallique de la guimbarde et les lamelles de l'harmonica à bouche. L'expérience enseigne que les corps élastiques par cohésion, comme les métaux et le bois, ne sont pas les seuls qui puissent former des anches. On peut y substituer des plaques ou des membranes rendues élastiques par tension, ainsi que je le ferai voir par la suite. Quand ces anches membraneuses sont mises en mouvement par un courant d'air comprimé, elles donnent des sons très-purs, sans le secours d'un corps de tuyau. En ajoutant un tuyau au devant des anches de la première et de la seconde espèce, on obtient un instrument plus compliqué, dans lequel l'air du tuyau contribue à modifier les vibrations de l'anche. Les instrumens de cette sorte qui ont des anches fixes en métal ou en bois, sont connus depuis long-temps sous le nom d'instrumens à anche. L'orgue a un registre entier de ces appareils. D'autres instrumens à vent, construits d'après le même principe, sont le hautbois, le basson, le serpent, la clarinette, la trompette des enfans, qui tous ont une anche, indépendamment du tuyau, et qui par-là diffèrent des flûtes, dans lesquelles le son est produit uniquement par la colonne d'air, dont la longueur le modifie. Mais on peut aussi unir ce que nous appelons les anches membraneuses avec un tuyau, de manière à former un instrument analogue, comme nous le verrons bientôt. La théorie de ces instrumens est de la plus haute importance pour l'étude de la voix humaine (1).

(1) Voyez *Dict. de l'industrie*, art. INSTRUMENS A CORDES ET A VENT, Paris, 1837, t. 7, pag. 516 et suiv.

A. *Instrumens à anches faits d'un corps élastique rigide, métal ou bois.*

1. *Anches simples sans tuyau.*

a. Anches ayant de l'analogie avec les verges.

L'instrument le plus simple de cette espèce est la guimbarde, languette d'acier fixée par l'une de ses extrémités à la partie concave d'un demi-cercle également en acier, dont les branches prolongées vont en se rapprochant un peu. Cette lame est mise en mouvement par l'air poussé entre elle et les branches. L'harmonica à bouche représente un assemblage de plusieurs languettes dans un même châssis. Elle se compose d'une petite plaque métallique percée de trous rectangulaires oblongs, dans chacun desquels s'ajuste une languette métallique, soudée à l'une de ses extrémités et libre à l'autre. Les languettes doivent pouvoir vibrer dans leur châssis sans y toucher. Pour les mettre en mouvement, on applique la plaque sur les lèvres, et on pousse l'air contre les languettes; de là résulte un son clair, qui varie suivant la longueur et la force de celles-ci.

Les anches ordinaires reposent sur le même mécanisme; un demi-cylindre creux, en laiton ou en acier, est ouvert à l'une de ses extrémités et fermé à l'autre; le côté plat est constitué, vers le bout fermé, par une plaque élastique qui ne bouche pas entièrement le demi-cylindre, dans la cavité duquel elle peut même vibrer; de cette manière, l'air a la facilité d'entrer dans le demi-cylindre et d'en sortir entre les bords de la plaque et la rigole. Il y a ici, comme dans la guimbarde et l'harmonica à bouche, un chassis et une languette élastique mobile, qui s'y ajuste. L'anche ne diffère de ces instrumens que parce que le châssis forme en même temps un tuyau servant à l'écoulement de l'air qui pénètre entre le cadre et la languette, et par lequel aussi cet air peut

être poussé contre la languette, car on peut souffler d'un côté et de l'autre dans l'anche. Si l'on prend dans sa bouche l'extrémité où se trouve la languette, et qu'on souffle dedans, de manière à faire vibrer celle-ci, l'air passant entre elle et le cadre pénètre par saccades dans le demi-cylindre. Si l'on souffle du côté du bout ouvert, l'air sort entre la languette et son châssis. On voit donc qu'ici, comme dans la guimbarde, la languette est la chose vraiment essentielle, et que tout le reste est accessoire. Une anche telle que celle dont je viens de parler peut, à l'aide d'un bouchon qu'elle traverse, être placée dans un cylindre creux, par une ouverture latérale duquel arrive l'air soufflé, comme dans le tuyau à anche de l'orgue.

La manière dont la languette est mise en vibration ne me paraît pas avoir été jusqu'à présent expliquée d'nne manière satisfaisante. Voici, selon moi, ce qui arrive. Lorsqu'on souffle, la languette est chassée hors de l'ouverture du châssis; en vertu de la loi de l'inertie, elle fuit devant le corps qui la pousse, jusqu'à ce que son élasticité, qui croît proportionnellement à sa flexion, fasse équilibre à sa vitesse. Comme la pression de l'air continue toujours, la langnette demeurerait dans cette situation si l'on continuait de souffler; mais, une fois qu'elle a été écartée, la pression est bien moindre que quand elle se trouvait encore engagée dans le châssis, de sorte que son élasticité la force de revenir sur elle-même comme un pendule, et que même, par l'effet soutenu de cette élasticité, elle rétrograderait avec une vitesse accélérée, si la pression continue de l'air ne la retardait un peu. Dès qu'elle est parvenue dans le châssis, la pression de l'air, devenue plus forte, la repousse de nouveau. Si cette pression ne variait pas, elle maintiendrait toujours la languette dans la même situation, celle que comporterait sa résistance. Un courant libre d'air peut, tout aussi bien qu'un courant renfermé, mettre une languette en vibration, pourvu que celle-ci soit assez

mince, comme par exemple dans l'harmonica à bouche, et que le courant ait de la force. Si l'on souffle avec force sur une languette d'harmonica à bouche, au moyen d'un tube délié à ouverture très-petite, elle entre en vibration ; je suis même quelquefois parvenu à faire résonner de petites languettes fixées sans châssis, à l'aide du courant d'air sortant d'un tube très-fin. On n'y réussit qu'avec les plus longues languettes de l'harmonica à bouche. J'isolai les plus longues de leur châssis, de manière qu'elles fussent tout-à-fait libres jusqu'à leur extrémité postérieure fixée, et je soufflai avec un tuyau très-fin au devant de l'extrémité d'un de leurs bords; en poussant l'air avec beaucoup de force dans une direction perpendiculaire, non à la surface, mais au bord, je parvins quelquefois à déterminer les vibrations sonores de la languette, mais beaucoup plus faibles que quand l'air est obligé de passer entre les bords de celle-ci et un châssis. Au contraire, les languettes membraneuses dont je donnerai plus loin la description, entrent parfaitement en vibration et résonnent pleinement lorsqu'on se sert d'un petit tube pour souffler. La manière dont un courant délié d'air peut faire entrer en vibration une languette facilement mobile, me paraît être celle-ci : le courant d'air comprimé, en frappant contre le bord de la languette libre, la chasse devant lui; elle s'éloigne en vertu de la loi de l'inertie, sort de la direction du courant, et continue de marcher dans le même sens, jusqu'à ce que son élasticité, qui croît avec sa tension, fasse équilibre à sa vitesse; alors l'élasticité la ramène sur ses pas avec une vitesse accélérée, jusqu'à ce qu'elle rentre dans le courant, qui la rechasse encore. La possibilité de produire un son avec une languette tout-à-fait libre, au moyen d'un courant d'air, prouve que, dans l'explication qu'on donne de la résonnance des anches, il ne faut pas attacher trop de poids à leur mode ordinaire de construction et au passage de l'air entre la languette et le chassis.

G. Weber (1) a fait voir que le son de la languette d'une anche mise en vibration par le souffle, change en raison directe de sa longueur, comme si on la faisait vibrer en la choquant ou la pinçant, et que les languettes vibrent d'après la même loi que les verges. Cette loi est que les nombres de vibrations de deux verges d'épaisseur égale et de même matière sont en raison inverse des carrés de leur longueur. Weber a montré, en outre, que le son qu'on produit en soufflant dans l'anche sans tuyau, ressemble parfaitement, pour l'élévation, à celui qu'on obtient d'une lame élastique libre par un bout et fixée par l'autre, en la percutant. L'élévation du son d'une anche est à peu près indépendante de la force du courant d'air ; mais on peut le renfler en soufflant avec plus de force. Biot avait déjà reconnu que la nature chimique du gaz dont on se sert pour souffler n'exerce aucune influence sur la hauteur du son. Cette manière de se comporter des lames élastiques métalliques ou solides fixées par un bout et libres par l'autre, est d'autant plus remarquable que, comme je l'ai constaté, les lames membraneuses disposées de la même manière se comportent tout autrement, puisqu'ici l'on peut élever le son de quelques semi-tons en soufflant avec plus de force.

Les dimensions de l'intervalle compris entre la languette et le châssis ont peu d'importance selon G. Weber. Quand l'ouverture est un peu plus grande, le son sort avec plus de peine, et on éprouve plus de difficulté soit pour le renfler soit pour l'affaiblir ; mais son élévation demeure la même.

Voici quelle est la théorie admise par la plupart des physiciens à l'égard des sons produits par les languettes. Les vibrations de ces corps obéissent bien, à ce qu'il paraît, aux

(1) *Leges oscillationis oriundæ si duo corpora diversa celeritate oscillantia ita conjunguntur, ut oscillare non possint, nisi simul et synchronice*, Halle, 1826, in-4.

mêmes lois que celles des verges ; mais il y a cette différence entre les verges et les languettes résonnantes, que, dans les premières, c'est la verge elle-même qui produit le son, tandis que, dans les secondes, c'est l'air. La même différence a lieu quand on fait vibrer une languette par la percussion ou par le souffle : dans le premier cas, c'est la languette seule qui résonne ; dans le second, elle doit bien aussi donner du son, mais beaucoup de personnes regardent l'air lui-même comme étant la cause principale du son particulier qu'elle rend alors, et cela par les motifs suivans :

Le son d'une languette mise en vibration par percussion est faible ; celui d'une languette qui vibre par l'effet du souffle est fort ; mais il y a aussi une différence dans la qualité des sons, dont le timbre ne ressemble pas, dans le premier cas, à ce qu'il est dans le second. On conclut de là que l'air, bien qu'il ne modifie pas l'élévation du son en raison de la largeur diverse de l'ouverture, doit cependant exercer sur lui de l'influence, en ce sens que, dans les conditions au milieu desquelles la languette vibre par l'effet du souffle, il éprouve des chocs réguliers, sans former de nœuds. On sait qu'il ne faut, pour la production d'un son, qu'un certain nombre de chocs qui soient propagés à l'organe auditif, et que les vibrations ne donnent lieu à des sons que parce qu'elles déterminent des chocs de ce genre. D'après la manière dont une languette vibre dans son châssis, il doit, assure-t-on, se produire des chocs semblables à ceux qui ont lieu dans la sirène, le passage de l'air à travers l'ouverture se trouvant arrêté un moment à chaque vibration. De même, dans la sirène, les interruptions du courant de l'air, en se succédant avec rapidité, font naître un son. L'élévation de ce son de l'air dépend du nombre des interruptions, et comme celles-ci sont dues aux vibrations de la languette, ce nombre doit être égal à celui des vibrations.

Mais cette théorie des sons produits par les languettes n'est

rien moins que démontrée. Les sons que l'on tire d'une lame mince de longueur suffisante, fixée à l'un de ses bouts et privée de châssis, en dirigeant sur elle le courant d'air d'un tube très-mince, prouve déjà que ces sortes de sons ne dépendent pas uniquement des chocs alternatifs de l'air, quoique le fort courant qui sort du tube, et qu'on dirige vers le bord de la languette, doive être un peu diminué chaque fois que celle-ci revient sur elle-même, tandis qu'il est libre au moment où elle se trouve hors de sa portée. Je me borne ici à soulever ce doute; j'y reviendrai plus amplement lorsque je traiterai des languettes membraneuses.

b. Languettes accompagnées d'un tuyau qui modifie le son.

Le son d'une anche ou d'une languette change beaucoup, eu égard à l'élévation, lorsque l'anche est ajustée sur un tuyau, comme dans le hautbois, la clarinette, le basson. Ici l'air, au lieu de s'écouler dans l'atmosphère, est obligé de parcourir le tuyau, et l'instrument se trouve composé de deux parties dont les vibrations obéissent à des lois différentes. Le son de l'anche et celui du sifflet, pris chacun à part, peuvent différer totalement l'un de l'autre; mais, quand ces deux parties sont réunies, elles s'influencent réciproquement, de manière que les vibrations de la languette sont déterminées par celles de la colonne d'air, et les vibrations de la colonne d'air par celles de la languette. On n'entend jamais qu'un seul son, qui n'est jamais non plus ni celui que donnerait l'anche seule, ni celui qu'on obtiendrait de la colonne aérienne seule. Il ne suffit donc pas que les vibrations aient lieu avec une simultanéité parfaite, il faut encore qu'elles s'accommodent les unes aux autres (1).

(1) G. Weber s'est occupé de rechercher les conditions nécessaires pour que ce son simple se produise. *Voyez* Poggendorf, *Annalen*, t. XVI, XVII.

Weber seul a donné une théorie sûre des instrumens à anche. Ce n'est point ici le lieu de faire connaître d'une manière détaillée les résultats de ses travaux, qui tiennent place parmi les plus importans de la physique moderne. Cependant je suis obligé de rapporter quelques uns des faits découverts par lui, attendu qu'ils servent de base aux recherches sur les sifflets à languette membraneuse, qui sont ceux avec lesquels l'organe de la voix a le plus d'analogie.

1° L'union d'un tuyau avec une anche peut rendre le son de cette dernière plus grave, mais ne saurait le rendre plus aigu.

2° Le maximum de cet abaissement ne dépasse point une octave.

3° En allongeant le tuyau, le son revient au son fondamental primitif de l'anche, qu'on peut ensuite abaisser de nouveau, mais seulement jusqu'à un certain degré.

4° La longueur du tuyau nécessaire pour obtenir un abaissement donné, dépend toujours du rapport entre les nombres des vibrations de la languette et de la colonne d'air, prises chacune à part.

5° Ainsi le son du tuyau d'anche s'abaisse peu à peu à mesure qu'on allonge le tube, jusqu'à ce que la colonne d'air de celui-ci soit devenue assez longue pour donner seule le même son que l'anche donne, également seule. En allongeant davantage le tube, le son revient au son fondamental de l'anche. On peut encore, en allongeant le tube, le faire descendre d'une quarte environ, jusqu'à ce que la longueur du tuyau soit double de celle de la colonne d'air qui aurait le même son que l'anche. Là le son repasse de nouveau au son fondamental de l'anche. L'allongement du tube peut abaisser de nouveau le son d'une tierce, jusqu'à ce qu'un moment vienne où il repasse au son fondamental de la languette. Pendant la transition, on peut produire deux sons différens suivant la force avec laquelle on souffle.

Ces découvertes sont susceptibles de s'appliquer aux sifflets à languettes membraneuses, comme j'essaierai de le faire plus loin.

6° Si le son de l'anche qui parle seule est dans la série des sons harmoniques du tuyau résonnant seul, l'union de l'anche avec le tuyau ne fait pas nécessairement changer le son de la première quand on souffle doucement; mais lorsqu'on souffle avec force, le son peut être abaissé au dessous de celui de l'anche, ou d'une octave, ou d'une quarte, ou d'une tierce mineure, ou d'autres intervalles correspondans aux nombres $^7/_8$, $^7/_{10}$, $^{11}/_{12}$.

Ces découvertes fournissent des indices certains pour comparer les organes de la voix ou d'autres instrumens sonores aux tuyaux à anche et aux tuyaux à bouche. Par exemple, que, sur un instrument à vent, on puisse, l'embouchure restant la même, abaisser à volonté le son par des tuyaux surajoutés, et obtenir un abaissement proportionné à la longueur des tuyaux, l'instrument est positivement un tuyau à bouche, et c'est l'air seul qui résonne dedans; qu'au contraire, l'embouchure restant la même, les tuyaux ne puissent produire qu'un abaissement d'une octave ou moins, il s'agit d'un tuyau à anche.

Parmi les instrumens à anche se rangent les jeux d'anche de l'orgue, ou le registre de la voix humaine. La clarinette, le hautbois, le basson sont aussi des instrumens à anche, avec lesquels on produit les différens sons en ouvrant ou fermant une série de trous dont l'expérience a fait connaître la disposition, tandis que, dans les jeux d'anche de l'orgue, chaque son a son tuyau particulier.

2. *Langues métalliques en forme de disques.*

Comme de minces plaques en bois ou en métal, vibrant d'après les lois des verges, agissent à la manière des languettes, on doit s'attendre aussi à ce que des disques métalliques

minces, vibrant d'après les lois des plaques, puissent servir de languettes lorsqu'elles sont fixées dans le milieu et que l'air s'écoule entre leur bord et le bord évidé d'un châssis périphérique. Certaines expériences faites par Clément et Hachette, et que Savart a répétées avec le même résultat, semblent devoir trouver place ici. Clément a découvert que quand un courant d'air passe à travers une ouverture pratiquée dans une paroi plane, et qu'on approche une plaque mince de cette ouverture, la plaque entre en vibration, et produit des sons sourds, très-graves. Les sons proviennent immédiatement des vibrations propres de la plaque, et il est vraisemblable qu'ils sont renflés par l'air, comme dans les tuyaux à anche; car lorsqu'on tient devant l'ouverture des disques circulaires d'égale épaisseur, mais de diamètres différens, les nombres de vibrations sont en raison inverse des carrés des diamètres, comme dans les disques circulaires résonnans. L'élévation des sons est la même aussi que quand on fait vibrer les mêmes disques circulaires par le moyen d'un archet de violon. Probablement on pourrait tout aussi bien employer des disques circulaires courbés en forme de cloches que des disques plats, de même qu'il arrive pour les sons qu'on produit immédiatement avec des corps solides affectant la forme de disques.

J'ai fait construire des languettes circulaires d'après le principe des instrumens à anche ordinaires. Un disque circulaire en laiton, d'un cinquième de millimètre d'épaisseur, sur trente-cinq millimètres de diamètre, est maintenu, dans son milieu, par une verge, contre le bord tranchant d'un châssis correspondant, de telle manière que l'air, poussé à travers le tuyau adapté au châssis, passe entre celui-ci et le bord du disque. Les sons sortent facilement, comme dans les tuyaux à anche ordinaires; mais souvent on en entend plusieurs à la fois, graves et aigus, par exemple le son fondamental et la quinte, ou même de plus aigus encore. L'aspiration de l'air fait également naître des sons, comme dans les languettes

ordinaires. Un instrument de pareille construction avec une languette en forme de cloche ne parle pas, probablement parce que la courbure du disque rend la languette trop roide, et fait qu'elle n'est plus assez grande.

Un disque circulaire en métal extrêmement mince, présentant une ouverture dans le milieu, et soudé à une embouchure très-courte par sa périphérie, pourrait aussi être considéré sous le point de vue d'une languette. Ce serait l'inverse du cas précédent, l'embouchure se trouvant à l'ouverture centrale, au lieu d'être sur le bord; l'air, passant à travers l'ouverture, agirait ici comme la verge qui passe par le milieu d'une peau tendue à sa périphérie, et qui produit des sons. Au premier aperçu, ces conditions semblent s'appliquer à l'appeau des oiseleurs, que Savart ne compte point parmi les tuyaux à anche; on pourrait alléguer en faveur du rapprochement que ces sifflets sont susceptibles d'être unis avec un tuyau, suivant lequel changent les sons. Mais ce qui empêche de l'admettre, c'est que, dans cet instrument, l'ouverture est beaucoup plus large que la fente des langues métalliques ne doit l'être pour qu'il se produise des sons. A la vérité, comme je l'ai dit plus haut, de très-minces et longues languettes d'harmonica à bouche rendent faiblement leur son, à l'air libre et sans châssis, lorsqu'un fort courant d'air, sortant d'un tuyau délié, vient à passer au devant de leur bord; cependant l'appeau des oiseleurs décrit par Savart a plus de ressemblance avec un tuyau à bouche. J'obtiens déjà des sons en embrassant avec mes lèvres un épais disque d'ivoire percé d'un trou central, et aspirant l'air; ce disque peut avoir assez d'épaisseur pour que ses bords soient incapables de vibrer, de sorte qu'il ne saurait agir comme une languette.

B. *Instrumens à anche membraneuse ou élastique par tension.*

L'étude de ces sortes d'anches a été négligée jusqu'ici, et l'on doit d'autant plus le regretter qu'elle renferme la clef de

la théorie de la voix de l'homme et des Oiseaux. Biot et Cagniard-Latour ont cherché à imiter les lamelles membraneuses de la glotte, appelées cordes vocales, avec des membranes élastiques en caoutchouc, et à fabriquer ainsi un larynx artificiel. Henle s'est servi avec succès de membranes animales dans la même vue ; mais jusqu'à présent cet objet n'avait pas été assez suivi pour qu'il fût permis d'établir un parallèle complet entre les instrumens en question et l'organe vocal. J'ai fait une étude spéciale de la maniere dont les ligamens et les membranes se comportent quand ils agissent comme anches, et je vais rapporter les observations que j'ai faites à cet égard. Je dois recommander instamment la lecture du chapitre entier à ceux qui voudront bien comprendre l'application que j'en ferai plus tard à la voix de l'homme, et les expériences tentées sur le larynx humain ; je dois inviter aussi le lecteur à bien se pénétrer des points principaux de la théorie des instrumens de musique, car sans cela il serait impossible de comprendre les détails dans lesquels je vais entrer.

On doit déjà prévoir d'avance qu'il y aura des anches à languette membraneuse. L'anche repose sur ce qu'un corps qui de lui-même ne donnerait aucun son par des chocs, ou du moins n'en donnerait que de faibles et sans éclat, produit, par l'impulsion soutenue de l'air, un son correspondant à son élasticité et à sa longueur. Les languettes dont il a été question jusqu'ici étaient de petites lamelles rigides, en métal ou en bois, qui, en raison de leur brièveté, vibrent par elles-mêmes sans produire de son, tandis que leurs lois de vibration sont celles des verges vibrantes. Des corps élastiques par tension qui deviennent incapables de résonner par percussion lorsqu'ils ont été raccourcis, mais qui conservent cependant leurs lois de vibration, peuvent également donner lieu à des sons appréciables, par des impulsions soutenues de l'air. De pareilles anches différeraient des anches rigides, élastiques par elles-mêmes, en ce qu'elles auraient besoin d'être fixées

sur deux points, comme les cordes, ou de tous côtés, comme les peaux, tandis que les anches rigides ne sont, comme les verges, fixées qu'à une seule extrémité. L'expérience confirme sur-le-champ cette idée. Lorsqu'on tend un membrane élastique (en caoutchouc) sur l'orifice d'un tuyau en bois, de manière qu'elle couvre la moitié de l'orifice, et qu'on ferme l'autre moitié de celui-ci avec une plaque rigide de bois ou de carton, en ménageant une fente étroite entre la membrane élastique et le bord du corps rigide, on a une anche membraneuse, et on obtient un son plein, pur et fort, en soufflant par l'autre bout du tuyau.

Je partage les instrumens à anche élastique par tension, en deux classes, comme l'ont été les précédens, savoir ceux qui sont simples, sans tuyau, et ceux qui ont un tuyau modifiant le son.

1. *Anches membraneuses simples sans tuyau.*

a. Anches tendues à la manière des cordes.

Les anches simples de cette espèce correspondent à la guimbarde et à l'harmonica à bouche de la section précédente. Après avoir étendu une plaque de caoutchouc en membrane mince, j'en détache une étroite lanière, ayant une ou deux lignes de large, et je tends cette lanière en travers sur un anneau en bois ou sur un cadre carré. Etant alors pincée à la manière d'une corde, elle donne un son faible et sourd, mais aussi mauvais que celui qu'une languette métallique produit par percussion. Si, de chaque côté du fil élastique plat on fixe sur l'anneau une plaque rigide en carton ou en bois, de manière que les deux plaques soient affleurées avec le fil, entre lequel et elles il ne reste qu'une fente étroite, on obtient une harmonica à bouche, dont la languette est en caoutchouc. Cet instrument donne alors, comme l'harmonica à bouche, un son pur, fort et plein. Mais on peut aussi, sans entourer cette languette d'un cadre, et sans que l'air passe sur ses côtés par des fentes, obtenir d'elle des sons pleins, d'une autre manière

et en vertu du même principe. J'ai déjà dit, en parlant des languettes métalliques, que celle d'une harmonica à bouche débarrassée de son châssis, et fixée par l'un de ses bouts, peut, pourvu qu'elle soit très-longue, être mise en état de vibration sonore par un courant d'air rapide et délié qu'à l'aide d'un tube très-mince on dirige sur l'un des bords latéraux, immédiatement au dessus de l'extrémité. Cependant on a de la peine à y parvenir avec les languettes métalliques, parce qu'elles sont trop roides. On réussit très-bien avec les lanières de caoutchouc dont je viens de parler. Qu'on tende un ruban étroit de gomme élastique sur un cadre de huit lignes à un pouce de diamètre, qu'ensuite, à l'aide d'un tube délié, on souffle sur l'un de ses bords dans une direction perpendiculaire à sa surface, il vibre d'un côté à l'autre, en faisant entendre un son. Ou, ce qui vaut mieux encore, qu'on souffle obliquement de côté sur la surface du ruban, il se produit aussitôt des vibrations de haut en bas, avec un son fort et pur, ayant la même résonnance que celui qu'on obtient lorsque, le ruban étant tendu entre deux jambages solides, on souffle à travers la fente. Ce son naît évidemment de la même manière que dans les languettes métalliques. Quand un courant d'air délié vient frapper le ruban, celui-ci s'éloigne du corps qui le choque; mais comme son élasticité croît à mesure qu'il s'étend, un moment arrive où cette élasticité fait équilibre à sa vitesse, et alors le ruban exécute la vibration rétrograde, qui le ramène assez près du courant pour qu'il doive être repoussé de nouveau. Que le courant d'air tombe obliquement sur le milieu du ruban, ou qu'il passe entre le milieu et les points terminaux, le son fondamental de ce ruban doit se produire dans les deux cas : quelquefois, lorsque le courant s'écarte davantage du milieu, il apparaît un autre son que le son fondamental. Mais le son dépend aussi, en quelque sorte, de la force avec laquelle on souffle. Si l'on applique le tranchant d'une spathule sur le milieu du ruban, dans une

direction perpendiculaire à sa surface, de manière qu'il repose à la fois sur deux points, et qu'ensuite on souffle sur la moitié du ruban, on obtient l'octave du son fondamental. Une tension plus considérable élève le son, qui n'en demeure pas moins pur et plein. Quant à la force du souffle, elle peut hausser le son fondamental du ruban d'un semi-ton et plns. En général cependant ces languettes élastiques par tension changent leurs vibrations absolument de la même manière que les cordes, c'est-à-dire que les nombres des vibrations croissent en raison inverse des longueurs, et probablement, par cela même, en raison directe des racines carrées des forces tensives. C'est déjà là une différence importante entre elles et les languettes métalliques, qui se comportent comme les verges, puisque, à égalité d'épaisseur, les nombres des vibrations sont en raison inverse des carrés de leurs longueurs. Les languettes membraneuses ne diffèrent des cordes que parce que le mode d'embouchure modifie un peu le son, quoique la languette continue de vibrer en plein, ou de toute sa longueur, comme une corde. Lorsqu'après avoir tendu sur un tuyau une languette membraneuse embrassée par un cadre, on souffle par le tuyau, un son se produit, soit qu'on pousse l'air, soit qu'on l'attire; mais, à égalité aussi parfaite que possible d'embouchure, ce son varie dans les deux cas : dans le second, il est la plupart du temps plus grave d'un semi-ton à un ton entier. La largeur de la fente entre les branches et la languette élastique n'a pas d'influence bien notable sur l'élévation du son; mais le souffle parle plus facilement lorsque cette fente est plus étroite. La force du souffle peut élever un peu le son, par exemple d'un semi-ton; celle de l'aspiration de l'air peut également l'élever un peu. Si la languette heurte, en un point quelconque, une inégalité du rebord des branches latérales qui l'embrassent, il se produit là un nœud de vibration, et l'on entend un son beaucoup plus élevé que le son fondamental.

Mais les anches membraneuses élastiques par tension peu-

vent être réalisées sous des formes plus variées que celles qui ont été indiquées jusqu'ici.

Je n'ai encore parlé que du cas d'un ruban élastique tendu, à la manière d'une corde, entre deux branches rigides, ce qui fait qu'il existe une fente sur chacun de ses deux bords. Deux autres formes encore sont possibles :

1° Une membrane élastique couvre une moitié ou une partie quelconque du bout d'un tuyau très-court, et la portion sur laquelle elle ne s'étend point est couverte par une plaque rigide, laissant une fente entre elle et la membrane.

2° Deux membranes élastiques sont tendues de telle manière, sur le bout d'un tuyau très-court, que chacune couvre une partie de l'ouverture, et qu'elles laissent entre elles une fente.

Lorsque la fente est bornée, d'un côté, par la membrane élastique, et d'un autre côté par une plaque rigide, à bord tranchant, par exemple en carton ou en bois, le résultat est le même que dans le cas d'une languette libre des deux côtés. Le son qu'on détermine en soufflant à travers le tuyau est d'un semi-ton à un ton entier plus élevé que celui qu'on produit en poussant un courant d'air délié sur la membrane elle-même et le dirigeant vers son bord. Dans tous les cas, on peut, en soufflant avec plus de force, élever de deux semi-tons, mais pas davantage, le son produit par le souffle. Celui qui a lieu quand on aspire l'air est plus aigu ; il n'est plus grave que quand la plaque rigide se trouve placée un peu en dedans, et que son bord est sitné derrière la membrane. Si l'on emploie un tuyau rond, la membrane n'est tendue, comme dans le cas d'un tuyau quadrilatère, que suivant une direction parallèle à la fente. Or on sait que les membranes tendues dans un sens, vibrent d'après les mêmes lois que les corps filiformes élastiques par tension. Les expériences dont je parle ici en fournissent aussi la preuve ; car lorsqu'on tend une membrane en caoutchouc sur un châssis carré, de manière qu'elle ne soit

tendue que dans une seule direction, l'un des bords étant libre et le bord opposé reposant sur le châssis, la lame entière donne le son fondamental si l'on souffle avec force sur le bord au moyen d'un petit tube très-fin, tandis que si l'on place un fil sur elle en travers, on peut, à l'aide du souffle, faire rendre l'octave à chacune de ses deux moitiés.

Comme les membranes tendues dans une seule direction changent leurs vibrations d'après les mêmes lois que les corps filiformes élastiques par tension, il résulte de là qu'à égalité de tension, et l'embouchure restant la même, l'élévation du son augmente en raison inverse de la longueur de la membrane ou de la fente comprise entre la lame élastique et la plaque rigide.

Je ne me suis point aperçu que la largeur de la fente influât sur l'élévation du son, comme il arrive avec les languettes métalliques; mais le souffle ne parle plus dès que la fente est trop large.

La situation du châssis par rapport à la languette, est une circonstance importante. Lorsque le bord de la plaque en laiton est situé précisément en face de la languette membraneuse, le son peut être plus élevé de l'intervalle *ut*-*fa*, ou moins, que quand la plaque solide est un peu plus avancée que la lame élastique.

Le cas le plus intéressant est celui dans lequel deux membranes élastiques limitent la fente, de manière à imiter une glotte; ces membranes peuvent être également ou inégalement tendues.

Les membranes en caoutchouc tendues faisant entendre un son lorsqu'on dirige un courant d'air sur leurs bords, cette particularité nous fournit le moyen d'amener au même degré de tension deux membranes de gomme élastique d'égale longueur, en changeant leur tension jusqu'à ce qu'elles rendent le même son quand on souffle sur leur bord avec un tube délié. Pour que l'une d'elles résonne sans l'autre, on abaisse un peu

celle qu'on ne veut pas faire parler, ou on la couvre d'une lame mince en carton. Une fois qu'elles sont tendues bien également l'une à côté de l'autre sur un châssis carré, on examine quel est le son qu'elles produisent ensemble. Je l'ai trouvé plus grave que le son fondamental donné par chaque lamelle isolée au moyen d'un courant d'air dirigé sur elle avec un petit tube. Chacune d'elles donnant le *la*, leur son commun était *sol*♯; leur son propre étant *ut*, elles faisaient entendre ensemble *si*; étant accordées chacune en *si*, elles donnaient ensemble *la*♯. Quand elles ne rendent pas toutes deux le même son, à cause d'une inégalité dans leur tension, il paraît souvent ne point s'établir d'accommodation semblable à celle qui a lieu entre les vibrations de la languette métallique et de l'air du tuyau. On parvient rarement à obtenir les sons des deux lamelles avec le souffle. Le son que l'on entend en soufflant est ordinairement unique, comme si la lamelle plus tendue ou celle qui l'est moins ne résonnait pas, ou comme on l'entend lorsqu'on empêche l'une des deux lames de vibrer en appliquant dessus une plaque de carton. Il arrive fréquemment que la lamelle qui parle avec peine, parce qu'elle est accordée trop bas, ne vibre que faiblement, et qu'elle est poussée un peu en avant.

Les expériences suivantes expliquent la résonnance d'un seul côté. Par exemple, les deux lamelles étaient accordées de manière à donner deux sons différens d'une octave, si l'on soufflait sur l'une par le tuyau sur lequel elle était tendue, pendant qu'on tenait une plaque solide appliquée sur l'autre côté de la fente, elle donnait *ré*. Lorsqu'on enlevait la plaque solide, de manière que les deux lamelles, entre les tensions desquelles il y avait une octave de différence, limitassent la fente, le son était également *ré*, comme dans le cas où l'on retenait une des lamelles, et, en soufflant avec force, on pouvait le faire monter jusqu'à *ré*♯, *mi*, *fa*. Quand le son produit immédiatement sans tuyau, par un courant d'air délié, était

mi pour la lamelle la moins tendue, et *si* pour l'autre, de manière que la différence entre elles fût d'une quinte, le son que l'on obtenait par le tuyau, après avoir posé une plaque de carton sur la plus tendue, était *sol*. En retirant la plaque, de manière que les deux lamelles limitassent la fente, le son fondamental obtenu par la tuyau était également *sol*. Si l'une des lamelles donnait *ut*, et l'autre plus tendne *ré*#, j'obtenais, en soufflant doucement dans le tuyau, *ut*, c'est-à-dire le son fondamental de la lamelle la plus grave. Dans ce dernier cas, la lamelle donnant le son le plus aigu se comportait d'une manière passive, et n'influait pas sur les vibrations de celle qui donnait le son le plus grave. Mais il paraît que les vibrations agissent réellement quelquefois les unes sur les autres. Cagniard la Tour a déjà obtenu ce résultat dans une expérience analogue, c'est-à-dire qu'il a vu s'accommoder ensemble les vibrations des deux lamelles différemment accordées, et que, par exemple, quand la différence entre celles-ci était d'une quinte, le son produit en commun offrait la moyenne, on la tierce. Je ne puis mettre en doute ce résultat; mais je dois appeler l'attention sur une source d'erreur dans ces sortes d'expériences. On croit souvent apercevoir une accommodation là où il n'y en a point, à proprement parler. Ainsi, dans une expérience que j'ai faite, la différence entre les deux lamelles était d'une octave; l'instrnment donnait le *si*, et la lamelle la plus tendue faisait entendra le *fa* au dessus; il semblait qu'une accommodation eût lieu dans ce cas, et que la lamelle donnant *fa* produisît le *si* avec celle qui était plus grave qu'elle d'une octave. Mais l'accommodation n'était qu'apparente; car lorsque je repoussais la lamelle la plus grave, et plaçais une lame en carton contre l'autre, de manière que les deux bords ne fussent plus en face l'un de l'autre, mais que la lame solide fît une légère saillie au dessus de la lamelle élastique, celle-ci, en parlant seule, donnait non plus *fa*, mais *si*, comme elle aurait fait si la fente eût été

limitée par deux lamelles. La lame solide avait ici la même situation absolument que la lamelle la plus grave prend, tandis qu'on souffle, lorsqu'elle limite inégalement la fente; en effet, le souffle la chasse un peu en avant, et elle ne vibre que faiblement.

La règle est celle-ci : la lamelle qui résonne est celle qui peut le plus facilement être mise en vibration par le souffle ; et si l'embouchure est appropriée au mouvement des deux lamelles, elles peuvent vibrer toutes deux, et s'accommoder ensemble pour produire un son simple ; mais elles peuvent aussi donner des sons différens, c'est-à-dire que l'embouchure peut, lorsqu'elle change, produire les deux sons l'un après l'autre.

Les languettes métalliques de l'harmonica à bouche ne s'accommodent point lorsqu'on les fait parler ensemble par le même porte-vent de la bouche.

Les membranes élastiques peuvent, du reste, être placées aussi les unes sur les autres par leurs bords. Dans ce cas également, on obtient des sons purs en soufflant.

On peut modifier beaucoup les sons en posant le doigt sur différens points de la lamelle vibrante. Ces expériences ont été faites avec des membranes en caoutchouc qui étaient tendues sur l'extrémité d'un cylindre. Quand je posais le doigt sur le pourtour extérieur d'une des lamelles, le son s'élevait un peu, et, à mesure que je rapprochais le doigt de la fente, l'acuité des sons produits par le souffle augmentait.

Les anches membraneuses diffèrent des anches métalliques sous le rapport du changement que le son subit lorsqu'on souffle avec plus de force. Un corps qui exécute des vibrations longitudinales, comme une colonne d'air, rend un son un peu plus aigu quand on donne plus de force au souffle ; un corps qui exécute des vibrations transversales donne des sons un peu plus graves lorsque ses excursions sont grandes, comme il arrive aux cordes et aux languettes métalliques. De là vient

que le son d'une anche métallique est un peu plus grave quand on souffle plus fort (ce qui tient peut-être à ce que la base de la languette métallique ne vibre point quand le souffle est faible). Mais les lamelles membraneuses ne se comportent point, à cet égard, de la même manière que d'autres corps qui vibrent en travers, comme les cordes. En effet, toutes les fois qu'on souffle avec plus de force, le son devient plus aigu. Cependant il me semble aussi que le son d'une harmonica à bouche à languette métallique mince s'élève un peu quand on chasse l'air avec force, et le son de l'anche très-délicate d'une trompette d'enfant parcourt, lorsqu'on accroît graduellement la force du souffle, l'étendue entière d'une octave et demie sans intervalles, soit qu'on ne souffle que dans la pièce qui la renferme, soit qu'on souffle dans le tuyau entier.

b. Anches tendues en manière de tympan.

Deux membranes laissant entre elles une fente, que l'on tend en plusieurs sens, et non pas de deux côtés seulement, à l'extrémité d'un tuyau, ont déjà de l'analogie avec les tympans; il en est de même d'une membrane qui est tendue de tous les côtés au bout d'un tuyau, mais qui présente, dans son milieu, une ouverture arrondie pour le passage de l'air. Cependant cette dernière ne parle généralement pas, ou ne donne que rarement un son faible.

La question se présente encore de savoir si les sons engendrés par des languettes membraneuses peuvent aussi être modifiés, quant à leur élévation, par l'addition de tuyaux de longueur diverse, ainsi qu'il arrive aux anches dont les languettes sont en métal. J'ai ajouté de ces tubes tantôt devant, tantôt derrière le cadre dans lequel étaient tendues les lamelles en caoutchouc, et j'ai remarqué qu'ils exerçaient, aussi bien que le souffle, une grande influence sur l'élévation du son.

2. *Anches membraneuses avec tuyau.*

Pour étudier l'influence du tuyau, je me servis d'abord

d'un corps de clarinette, à l'égard duquel on connaît l'influence de la colonne d'air qu'il renferme sur le son de l'anche, et celle des divers trous dont il est percé sur la modification du son. J'enlevais l'anche ordinaire, et je la remplaçais par une autre faite avec une languette membraneuse en caoutchouc. La plaque ne fut pas toujours accordée de la même manière dans les diverses expériences; cependant le résultat demeura, généralement parlant, le même à peu près.

La clarinette étant préparée ainsi, j'examine ce qui a lieu quand on ouvre ou ferme les trous latéraux. On ne tarde pas à s'apercevoir que le tuyau de la clarinette rend plus grave le son fondamental de la languette membraneuse, mais que l'influence des trous latéraux est beaucoup moins grande que quand ce tuyau se trouve garni de son anche ordinaire. En ouvrant successivement les trous et les clefs de bas en haut, on peut, dans une clarinette ordinaire, élever le son successivement par semi-tons. Mais quand on a substitué la languette membraneuse à l'anche ordinaire, l'élévation du son, par l'ouverture successive des trous de bas en haut, n'a lieu que d'une manière tout-à-fait insensible, et ne dépasse pas un semi-ton jusqu'aux trous les plus élevés, qui seuls exercent une influence notable. Lorsque ceux-ci étaient ouverts, l'élévation du son au dessus de celui qu'on obtenait tous les trous latéraux étant fermés, n'était que d'un ton entier.

Pour apprendre à connaître d'une manière plus précise l'influence des tuyaux adaptés aux languettes membraneuses, je fis fabriquer, pour être ajustés à l'anche munie d'une languette membraneuse, des tuyaux cylindriques en carton, de longueur différente, et susceptibles de s'emboîter les uns dans les autres. Le diamètre transversal de ces tuyaux s'élevait à un pouce. Le premier était destiné à recevoir l'anche munie d'une languette membraneuse. Les membranes étaient tendues à l'extrémité d'un court tuyau. Les anches étaient diffé-

rentes aussi. L'une était couverte de deux petites plaques en carton, laissant entre elles une fente, dans laquelle se trouvait tendu un mince ruban de caoutchouc, faisant office de languette. Une autre n'était qu'à moitié couverte d'une plaque en bois, de manière que l'on pouvait couvrir l'autre moitié d'une lame en caoutchouc tendue. Une troisième était sans plaque de bois, et couverte de lames en caoutchouc tendues, qui s'appliquaient immédiatement l'une contre l'autre. Une quatrième était aussi couverte de deux lames en caoutchouc : dans celle-ci, l'ouverture sur laquelle les lamelles étaient tendues, se trouvait de côté, de manière que la fente marchait parallèlement à la longueur de l'anche, comme dans les anches ordinaires des tuyaux à anche. L'ouverture des trois premières anches avait, au contraire, sa fente dirigée en sens opposé à l'axe. Le tuyau de l'anche servait pour souffler. L'autre bout; où se trouvait la languette, s'ajustait dans l'une des extrémités du premier tuyau en carton. Les tuyaux étaient au nombre de cinq. Le premier servait comme de pied pour recevoir l'anche; il était disposé de manière que le son fondamental de sa colonne d'air fût ut_3. Un second tuyau pouvait s'adapter au précédent, et le luthier l'avait mesuré de telle sorte qu'avec celui-là il donnât l'ut_4. Le troisième tuyau donnait, avec le pied, la quinte, sol_4. Le quatrième tuyau était calculé pour donner ut_5 avec le pied. Le cinquième avait assez de longueur pour produire l'ut_6 avec le précédent et le pied. D'après cela, les tuyaux pouvaient être combinés de manière à donner seuls, sans anche, l'ut_3, son octave ut_4, la quinte de celui-ci sol_4, l'octave de l'avant-dernier ou ut_5, et l'octave de celui-ci, ut_6.

J'unissais l'anche munie d'une languette membraneuse à ces tuyaux de longueur diverse, et j'examinais l'influence qu'ils exerçaient sur le son rendu par elle. Les expériences ont donné des résultats fort différens. Presque toujours le bec rendait le son fondamental de l'anche un peu plus grave,

tantôt de moins d'un semi-ton, tantôt d'un semi-ton à un ton entier; cependant je ne pus encore découvrir de règle fixe. En ajoutant le second tuyau au bec, le son devint plus grave, ou s'éleva d'un plusieurs semi-tons, et sous ce rapport non plus je ne pus arriver à une règle précise. Pour avoir un point fixe de comparaison dans des expériences aussi difficiles, je pris toujours pour base le son produit par le souffle le plus faible, et je donnai l'exclusion sous ce rapport à ceux plus aigus qu'un courant d'air plus fort détermine en faisant naître des nœuds de vibration dans le tuyau ajouté. Il y eut même quelques cas où je ne remarquai pas d'abaissement du son en adaptant la seconde pièce, qui ajoutait cependant une octave. Dans ces cas, il survenait quelquefois un petit abaissement d'un semi-ton ou d'un ton entier lorsque j'ajoutais le tuyau; dans d'autres, au contraire, le son que l'anche avait avec le premier tuyau se conservait sans changement, même après l'addition du second, du troisième et des autres. Quand le son était abaissé par l'adaptation du second tuyau, l'addition de la pièce suivante le relevait ordinairement assez pour le rapprocher de celui que l'anche donnait avec le bec seul, ou pour l'y rendre égal, et alors le son demeurait le même, ou à peu près, quand on ajoutait les derniers tuyaux, ou bien l'addition du dernier l'abaissait de nouveau un peu. J'employais pour base de comparaison des sons de l'anche seule avec les sons que les tuyaux étaient aptes à donner seuls, un tube labial particulier ayant le même son fondamental que celui du bec avec le premier tuyau, ut_4. Le son de l'anche et les sons qu'elle produisait avec les tuyaux étaient déterminés chaque fois sur un piano bien accordé. Comme le rapport du son de l'anche à celui du tuyau, et les différences dans la force du souffle et la manière de souffler, qu'il était impossible d'éviter, auxquelles même il devenait nécessaire de recourir pour obtenir encore un son grave avec certains tuyaux, ne permettaient pas d'arriver à des résultats uniformes, l'exposé des

nombreuses expériences qui ont été tentées ne compenserait guère la peine qu'il donnerait. Je me contenterai donc de citer un seul exemple d'une anche unilabiale, afin de montrer combien le résultat était inégal.

I. L'anche était tendue de manière à donner seule, quand on soufflait dessus avec un petit tube, le son fondamental ut_4 du tuyau à bouche.

Anche soufflée par le court tuyau d'embouchure, seule et sans tuyau ajouté, la_3 de l'octave précédente.

Avec le bec, $sol\sharp_3$, un semi-ton plus bas.

La longueur du bec portée d'un pied à deux, ou le bec avec le tuyau qui donnait avec lui l'octave grave du bec ou ut_4, mi_3.

Avec le tuyau suivant le son s'élevait à sol_3.

II. Anche avec le tuyau d'emboncbure $la\sharp_3$ au dessous du son fondamental ut_4 du tube labial.

Avec le bec $la\sharp_3$.

En doublant le bec par l'addition du tuyau suivant, $sol\sharp_3$.

Bec avec le pied donnant la quinte, $la\sharp_3$, comme avec le bec seul.

La longueur du bec portée de 1 à 4, la_3.

Cette longueur portée de 1 à 8, $la\sharp_3$, comme avec le bec seul.

III. Anche avec le tuyau d'embouchure seul, la_3 au dessous du son fondamental ut_4 du tube labial.

Avec le bec, la_3.

La longueur du bec portée de 1 à 2, $fa\sharp_3$ plus grave.

Le bec et le tuyau dounant la quinte, $fa\sharp_3$.

La longueur du bec portée de 1 à 4, $sol\sharp_3$.

La longueur portée de 1 à 8, $fa\sharp_3$.

IV. L'anche, par l'embouchure seule, donne mi_3 au dessous du son fondamental ut_4 du tube labial.

Avec le bec $ré\sharp_3$.

Longueur du bec portée de 1 à 2, mi_3.

Le bec avec le tuyau donnant la quinte, $\textit{ré}\sharp_3$.

Longueur portée de 1 à 4, $\textit{mi}_3$.

Longueur portée de 1 à 8, $\textit{mi}_3$.

V. L'anche, avec le tuyau d'embouchure seul, donne $\textit{mi}_3$ au dessous du son fondamental $\textit{ut}_4$ du tube labial.

Avec le bec, $\textit{ré}_3$.

Longueur portée de 1 à 2, point de son.

Le bec et le tuyau donnant la quinte, $\textit{ré}\sharp_3$.

Longueur portée de 1 à 4, $\textit{mi}_3$.

Longueur portée de 1 à 8, point de son dans la même octave, $\textit{si}_4$ peu prononcé de l'octave au dessus, en soufflant plus fort.

VI. L'anche par l'embouchure seule $\textit{ut}\sharp_3$, au dessous de l'$\textit{ut}_4$ du tube labial.

Avec le bec, $\textit{ut}_3$, un semi-ton plus bas.

Longueur portée de 1 à 2, $\textit{ut}\sharp_3$.

Le bec et le tuyau donnant la quinte, $\textit{ut}\sharp_3$.

Longueur portée de 1 à 4, $\textit{la}\sharp$, plus grave.

Longueur portée de 1 à 8, $\textit{ut}\sharp_3$.

VII. L'anche, par l'embouchure, s'accordant avec le son fondamental $\textit{ut}_4$ dn tube labial.

Avec le bec, $\textit{si}_3$, un semi-ton plus bas.

Longueur portée de 1 à 2, $\textit{fa}_3$, plus grave.

Le bec et le tuyau donnant la quinte, $\textit{fa}_3$.

Longueur portée de 1 à 4, $\textit{sol}\sharp_3$.

Longueur portée de 1à 8, $\textit{fa}\sharp_3$.

VIII. L'anche par l'embouchure seule, une octave au dessus du son fondamental $\textit{ut}_4$ du tube labial.

Avec le bec, $\textit{ut}_5$.

Longueur portée de 1 à 2, $\textit{ut}_5$.

Le bec et le tuyau donnant la quinte, $\textit{ut}_5$.

Longueur portée de 1 à 4, $\textit{si}_4$.

Longueur portée de 1 à 8, $\textit{ut}_5$.

IX. L'anche par l'embouchure $\textit{ré}_5$ de l'octave au dessus du son fondamental $\textit{ut}_4$ du tube labial.

Avec le bec, *ré*$_5$.

Longueur portée de 1 à 2, *ré*$_5$.

Le bec et le tuyau donnant la quinte, *ré*$_6$.

Longueur portée de 1 à 4, *ré*♯$_5$.

Longueur portée de 1 à 8, *ré*♯$_5$, sans pureté.

Les contradictions qui règnent entre ces expériences sautent aux yeux. Elles tiennent d'un côté à la différence de rapport entre le son fondamental de l'anche et celui du tuyau ajouté, d'un autre côté à celle dans la manière de souffler qui était nécessaire pour faire sortir le son, mais qui le modifiait sur-le-champ. Ce qui ressort certainement de ces expériences, c'est qu'un tuyau court, dont le son propre, sans anche, serait beaucoup plus élevé que celui de l'anche seule, n'élève pas le son quand le souffle est court, mais l'abaisse ordinairement un peu, et qu'en allongeant le tuyau lorsque le son est tombé, on finit par le ramener presque au son primitif.

Dans les expériences précédentes, la bouche avait été employée pour faire parler les anches à languette membraneuse. Il était intéressant de rechercher ce qui arriverait si, au lieu de souffler avec la bouche dans une anche établie sur un tuyau de rapport, ce qui produit nécessairement un courant d'air dans ce dernier, on faisait parler la languette membraneuse en soufflant dessus avec un tube délié, cas dans lequel le tuyau ne serait point traversé par un courant d'air. Ici encore le tuyau de rapport ne fut pas sans influence sur les modification du son de l'anche. Je vais rapporter quelques unes des expériences que j'ai faites en ce sens.

I. Son de la languette en caoutchouc de l'anche, sans aucun tuyau, en la faisant parler avec un tube très-fin, *si*$_3$.

Avec le bec *la*♯$_3$.

Addition d'un tuyau de *ut*$_4$, souffle avec le même tube que précédemment, *si*$_3$ qui sort mal.

Le bec avec le tuyau donnant la quinte, *si*$_3$.

Addition d'un tuyau de *ut*$_3$, *sol*♯$_3$.

Addition d'un tuyau d'ut_6, $la\sharp_3$.

II. Son d'une languette avec un tuyau de trois pouces et demi, ut_4.

Avec le tuyau d'ut_6, ut_4.

Avec le tuyau d'ut_4, ut_4.

Le bec avec le tuyau donnant la quinte, ut_4.

Avec le tuyau d'ut_3, ut_4.

Avec le tuyau d'ut_2, si_3.

III. Son d'une langnette avec un tuyau de trois pouces et demi, $ré\sharp_3$.

Avec le tuyau d'ut_6, $ré_3$.

Avec le tuyau d'ut_4, $ré_3$.

Le bec avec le tuyau donnant la qninte, $ut\sharp_3$.

Avec le tuyau d'ut_3, $ré\sharp_3$.

Avec le tuyau d'ut_2, *ré*.

IV. Son d'une languette avec un tuyau de deux pouces et demi, si_3.

Avec le tuyau d'ut_6, $la\sharp_3$.

Avec le tuyau d'ut_4, si_3 faible.

Avec le tuyau d'ut_3, si_3 faible.

Avec le tuyau d'ut_2, si_3 faible.

Les séries d'expériences que je viens de reproduire, ne donnent qu'une idée imparfaite de la manière dont le son de la languette est modifié par le tuyau de rapport. Les tuyaux d'un volume déterminé produisent peu d'effet dans certains cas, et cependant d'autres en déterminent un bien prononcé. Afin de découvrir la loi du phénomène, j'employai des tuyaux d'un pouce de diamètre, susceptibles d'être portés successivement jusqu'à la longueur de quatre pieds, en y faisant entrer d'autres tuyaux plus grêles. Je pouvais parvenir ainsi à mesnrer, depuis les plus petites dimensions, quelle est l'influence que le tuyau ajouté exerce sur le son de l'anche. J'ai fait à ce sujet les expériences suivantes.

I. Son fondamental d'une anche unilabiale en caoutchouc (au moyen d'un tube de trois pouces), *ut*♯$_4$.

TUYAU AJOUTÉ.	SON.	REMARQUES.
0	*ut*♯$_4$	
6^p	*ut*$_4$	Le son baisse.
6^p 9^l	*si*$_3$	»
7^p 6^l	*la*♯$_3$	»
9^p	*la*$_3$	»
9^p 6^l	*la*$_3$ et *ut*♯$_4$	Le son saute de *la*$_3$ à *ut*♯$_4$, qui persiste jusqu'à près de 18 pouces de tuyau.
18^p	*ut*$_4$	Le son baisse.
20^p	*ut*$_4$	»
22^p 6^l	*la*$_3$ et *ut*♯$_4$	Le son saute de *la*$_3$ à *ut*♯$_4$, qui persiste jusqu'à près de 30 pouces de tuyau.
30^p	*ut*$_4$	Le son baisse.
31^p	*si*$_3$ et *ut*♯$_4$	Le son saute de *si*$_3$ à *ut*♯$_4$.
36^p	*ut*♯$_4$	
40^p	*ut*$_4$	Le son baisse.
45^p	*si*$_3$ et *ut*♯$_4$	Le son saute.
48^p	*ut*♯$_4$	

II. Son fondamental d'une anche unilabiale en caoutchouc, en soufflant avec la bouche, *ré*$\sharp_4$.

TUYAU AJOUTÉ.		SON.	REMARQUES.
0		*ré*$\sharp_4$	
3^p		*ré*$_4$	Le son baisse.
4^p	6^l	*ut*$\sharp_4$	»
5^p		*ut*$_4$	»
6^p	6^l	*si*$_3$	»
7^p		*la*$\sharp_3$	»
8^p		*la*$_3$	»
9^p	6^l	*sol*$\sharp_3$	»
10^p		*sol*$\sharp_3$ et *ut*$\sharp_4$	Le son saute de *sol*$\sharp_3$ à *ut*$\sharp_4$.
11^p		*ut*$\sharp_4$	Le son baisse.
13^p		*ut*$_4$	»
17^p	6^l	*si*$_3$	»
20^p		*la*$\sharp_3$	»
22^p		*la*$_3$	»
23^p	6^l	*sol*$\sharp_3$	»
26^p	6^l	*sol*$\sharp_3$ et *si*$_3$	L'un après l'autre. Saut.
31^p		*la*$\sharp_3$	
35^p		*la*$_3$	Le son baisse.
39^p		*sol*$\sharp_3$	
41^p		*sol*$\sharp_3$ et *si*$_3$	L'un après l'autre.
45^p		*la*$\sharp_3$	Le son baisse.

III. Anche unilabiale sans porte-vent.

TUYAU AJOUTÉ.		SON.	REMARQUES.
3^p	6^l	*fa*$_4$	
4^p		*mi*$_4$	Le son baisse.
4^p	6^l	*ré*♯$_4$	»
5^p		*ré*$_4$	»
6^p		*ut*♯$_4$	»
6^p	8^l	*ut*$_4$	»
7^p	6^l	*si*$_3$	»
8^p		*la*♯$_3$	»
8^p	6^l	*ut*$_3$	»
9^p		*sol*♯$_3$	»
9^p	6^l	*sol*$_3$	»
10^p		*fa*♯$_3$	»
11^p	3^l	*fa*$_3$	»
12^p		*mi*$_3$	»
12^p	6^l	*ré*♯$_3$	»
14^p		*ré*$_3$	»
17^p	6^l	*ré*♯$_3$	»
19^p		*ré*♯$_3$ et *ut*$_4$	L'un après l'autre. Saut.
20^p	3^l	*si*$_3$	Le son baisse.
21^p		*la*♯$_3$	»
22^p	6^l	*la*$_3$	»
24^p		*sol*♯$_3$	»
25^p		*sol*$_3$	»
29^p	9^l	*fa*♯$_3$	»
33^p		*fa*$_3$	»
34^p	3^l	*mi*$_3$	»
35^p	6^l	*ré*♯$_3$	»
38^p	6^l	*ré*♯$_3$ et *ut*$_4$	L'un après l'autre. Saut.
40^p		*ré*♯$_4$	Le son baisse.
42^p		*ré*$_4$	»
42^p	9^l	*ut*♯$_4$	»

Suite du tableau n° III.

TUYAU AJOUTÉ.	SON.	REMARQUES.
43^p 4^l	ut_4	Le son baisse.
44^p 4^l	si_3	»
44^p 6^l	$la\sharp_3$	Id.
45^p	la^3	Id.
46^p	$sol\sharp_3$	Id.

IV. Son d'une anche unilabiale, par la bouche, sans porte-vent, si_3.

TUYAU AJOUTÉ.	SON.	REMARQUES.
0	si_3	
1^p 2^l	$la\sharp_3$	Le son baisse.
2^p	la_3	Id.
3^p	$sol\sharp_3$	»
7^p 6^l	sol_3	»
9^p	$fa\sharp_3$	»
10^p	fa_3	»
13^p	mi_3	»
17^p	$ré\sharp_3$	»
22^p 4^l	$la\sharp_3$	Saut.
23^p	sol_3	Le son baisse.
25^p 6^l	$fa\sharp_3$	»
27^p 6^l	fa_3	»
32^p	mi_3	»
37^p 6^l	$ré\sharp_3$	»
40^p	sol_3	Saut.
42^p 6^l	$fa\sharp_3$	Le son baisse.
45^p	fa	»

V. Son d'une anche unilabiale en caoutchouc parlant avec la bouche, *mi*$_4$.

TUYAU AJOUTÉ.		SON.	REMARQUES.
3^p		*ré*$\sharp_4$	Le son tombe.
3^p	9^l	*ré*$_4$	Id.
4^p	9^l	*ut*$\sharp_4$	»
5^p	6^l	*ut*$_4$	»
6^p	2^l	*si*$_3$	»
7^p	4^l	*la*$\sharp_3$	»
10^p		*la*$_3$	Id.
13^p	6^l	*ré*$\sharp_4$	Saut.
15^p		*ré*$_4$	Le son baisse.
15^p	8^l	*ut*$\sharp_4$	»
17^p	6^l	*ut*$_4$	»
20^p		*si*$_3$	»
24^p		*la*$_3$	»
28^p		*ré*$\sharp_4$	Saut.
29^p	6^l	*ré*$_4$	Le son baisse.
30^p		*ut*$_4$	»
30^p	6^l	*si*$_3$	»
34^p		*la*$\sharp_3$	»
35^p		*la*$_3$	»
41^p	6^l	*ré*$\sharp_4$ et *mi*$_4$	Saut.
42^p		*ut*$_4$	»
43^p		*si*$_3$	»

VI. Son d'une anche unilabiale en caoutchouc avec un tuyau de 5 pouces, sol_3. Le bord de l'anche repose un peu sur la plaque de bois, ou le cadre. Le son baisse jusqu'à une longueur de tuyau de 21 pouces, saute alors, puis baisse de nouveau jusqu'à 42 pouces, ensuite saute et baisse encore.

Ces expériences ont été répétées plusieurs fois, et elles ont donné des résultats semblables.

Les expériences de la première série, faites avec des tuyaux de rapport qui restaient les mêmes, mais en se servant d'anches dont le son propre avait une élévation différente, prouvent déjà que le changement de son d'une anche membraneuse ne dépend pas uniformément de la longueur absolue du tuyau qu'on ajoute. Celles que je viens de rapporter démontrent avec plus de précision encore que ce changement tient au rapport qui existe entre le son fondamental de l'anche et celui des tuyaux. Nos tuyaux avaient un pouce de diamètre. Un semblable tuyau, long de onze pouces et quatre lignes, a pour son fondamental ut_4. On peut calculer d'après cela les sons fondamentaux de chacun des tuyaux que l'on emploie. Ordinairement, par des tuyaux successifs, ou par l'allongement du tuyau, le son baisse par tous les semi-tons jusqu'à ce que le tuyau ait acquis une longueur telle que le son fondamental qu'il produit à lui seul se rapproche de celui de l'anche, et l'abaissement cesse dès avant qu'on en soit arrivé là; car il n'est pas facile d'abaisser ainsi le son d'une octave; par exemple, on ne peut le faire descendre que de ut_4 à la_3 (exp. 1re), de $re\sharp_4$ à $sol\sharp_3$ (exp. 2), de mi_4 à la_3 (exp. 5). A une certaine limite, il remonte, par un saut, au son fondamental de l'anche, ou à peu près; et lorsque ensuite on ajoute de nouveaux tuyaux, il redescend jusqu'à ce que ceux-ci aient acquis environ une longueur double, puis il remonte, et l'addition d'autres tuyaux le fait encore descendre. Dans plusieurs cas (exp. 3), l'abaissement se prolongea presque jusqu'à une octave. Le saut n'avait point lieu alors quand le

tuyau avait acquis à peu près assez de longuenr pour que son son fondamental fût rapproché de celui de l'anche, mais seulement lorsqu'il était arrivé au double de cette longueur. Les causes de cette différence me sont demeurées inconnues. Mais ce qui ressort déjà des expériences, c'est qu'un tuyau à anche membraneuse se comporte à peu près de la même manière que ceux à anche métallique, lorsqu'on y ajoute des tuyaux. Dans ces derniers, les expériences comportent une bien plus grande précision, parce que le changement de force du souffle ne modifie que très-peu le son des anches métalliques, tandis qu'il change avec beaucoup de facilité celui des anches membraneuses d'un semi-ton ou même d'un ton entier. En faisant parler les anches avec un soufflet chargé de poids, on pourrait remédier jusqu'à un certain point à cet inconvénient : cependant le souffle avec la bouche, permettant de réduire le vent au plus bas degré susceptible de produire un son, présente certains avantages, et l'on peut à peine éviter d'y recourir, parce qu'il n'y a souvent qu'un mode particulier d'embouchure et de disposition des lèvres, sans changement dans la force du souffle, qui fasse sortir tel ou tel son.

Nous devons à Weber des recherches classiques sur les changemens que les tuyaux de rapport font éprouver aux sons des tuyaux à anches métalliques. Il a donné les éclaircissemens suivans à cet égard.

Soit a le quart de la longueur d'un tuyau dont la colonne d'air a le même son fondamental que l'anche isolée. Plus le son isolé de l'anche est grave ou aigu, plus a doit être long ou court.

1° Un tuyau prolongé jusqu'à a abaisse le son d'une manière insensible.

2° En portant la longueur de a à $2\ a$, l'abaissement augmente sensiblement ; cependant la durée des vibrations croît plus lentement que la longueur des colonnes d'air.

3° Pendant que la longueur de la longueur de la colonne d'air croît de $2a$ à $3a$, le son s'abaisse rapidement, et la gravité augmente avec presque autant de vitesse que la longueur de la colonne d'air.

4° En allongeant de $3a$ à $4a$, le ton baisse plus rapidement encore, jusqu'à ce qu'enfin il soit plus grave d'une octave que celui de l'anche seule. En continuant d'allonger, le son revient tout à coup, par un saut, au son élevé de la plaque isolée, et si l'on allonge encore, il recommence à s'abaisser de la même manière, jusqu'à ce qu'à une longueur de $8a$, il soit d'une quarte environ plus grave que celui de l'anche isolée. Si l'on continue d'allonger, le son remonte de nouveau à celui de l'anche, et quand on ajoute des tuyaux jusqu'à $12a$, il s'abaisse jusqu'à la tierce mineure du son de l'anche, après quoi il saute encore (1).

L'addition de tuyaux n'est pas le seul moyen de changer le son d'un tube à anche membraneuse. On peut arriver au même résultat de deux autres manières, par la force du souffle, et par l'occlusion partielle de l'extrémité inférieure du tuyau.

Quand on garnissait une anche à languette membraneuse de tuyaux ayant une certaine longueur, par exemple celle de quatre pieds, on pouvait, en soufflant avec plus de force, ou employant un autre mode de souffler, faire monter le son de près d'une octave, par semi-tons. Ce qu'on n'obtenait pas en se bornant à accroître la force du souffle, on pouvait le produire en serrant davantage les lèvres. Ainsi, par exemple, le son du tuyau à anche de quatre pieds, avec une languette membraneuse, était ut_2; en soufflant plus fort, avec ou sans resserrement des lèvres, il montait facilement à *ut*♯, *ré*, *ré*♯, *mi*; le *fa* sortait très-difficilement; puis on obtenait sans peine *fa*♯, *sol*, *sol*♯, *la*, *la*♯; le *si* avait de la peine à sortir, et n'était pas pur.

(1) Poggendorf, *Annalen*, XVI, 425.

D'après les frères Weber, les tuyaux à languette métallique peuvent aussi produire des sons flûtés (vibrations avec nœuds), et le son qu'un de ces tuyaux donne, quand il vibre simplement, est d'une octave et une quinte plus grave que quand il vibre de manière qu'un nœud de vibration se forme; de sorte que, sous ce rapport, les tuyaux à anche se comportent comme des sifflets dont l'un des bouts est ouvert et l'autre bouché. Mais un phénomène propre uniquement aux tuyaux à anche membraneuse, c'est que la force du souffle peut élever de quelques semi-tons le son de l'anche, tant lorsqu'elle est isolée que quand elle se tronve unie à un tuyan. Si, au lieu de languettes élastiques sèches, je prends des languettes élastiques humides, par exemple une tunique d'artère, le son peut, sans addition de tuyau, être poussé, par semi-tons, beaucoup plus haut encore, jusque vers la quinte.

L'ouverture inférieure du tube exerce de l'influence snr le son du tnyau à languette membraneuse. Avec nn tube de trois pouces, j'ai pu abaisser le son d'une quinte entière, en couvrant de plus en plus l'ouvertnre. Avec un tube de six ponces, le son de l'anche tombait d'nn semi-ton en couvrant à demi l'ouverture, et descendait d'ut_3 à fa_2 en faisant pénétrer le doigt dans cette dernière. Mais, à mesure que le son s'abaisse, il perd de sa force. Dans certains cas, l'introduction du doigt eut un effet inverse. Le son s'éleva un peu, de sorte, par exemple, qne si le son du tuyau à anche de vingt-quatre pouces, dont l'anche donnait $ré_2$, était $ré\sharp_2$, le doigt introdnit dans l'ouverture pouvait l'élever un peu. Un phénomène analogue s'est présenté souvent. J'ai été fort long-temps sans pouvoir expliquer cette contradiction; cependant j'ai fini par m'en rendre compte. Tant que le son s'abaisse par l'effet des tubes, il devient toujours plus grave si l'on convre l'extrémité inférieure. Mais quand l'allongement est parvenu au terme où le son est sur le point de revenir, par un sant, au son aigu, alors l'occlusion de l'ouvertnre peut l'élever un peu,

et même déterminer le saut. Ainsi, par exemple, depuis cinq pouces jusqu'à quinze pouces, le son s'abaissait continuellement, savoir de *sol*$_3$ à *ré*$_3$; dans les longueurs comprises entre ces deux termes, l'occlusion de l'ouverture inférieure déterminait toujours un abaissement. A vingt-et-un pouces, le son était sur le point de remonter, en sautant, de *ré*♯$_3$ à *sol*$_3$, et le tuyau étant parvenu à cette longueur, on pouvait, en couvrant l'ouverture, amener le son à *mi*$_3$ et rendre plus facile le saut à *sol*$_3$.

S'il se trouve un rétrécissement considérable (un bouchon) à l'autre extrémité du tuyau, c'est-à-dire immédiatement au devant de l'anche, le son devient la plupart du temps plus élevé qu'il ne l'est dans les tuyaux qui n'offrent pas cette disposition.

3. *Influence du porte-vent sur le son des anches membraneuses.*

Grenié paraît être le premier qui ait observé l'influence du porte-vent sur le son d'un tuyau d'anche à languette métallique. Cette influence n'a point encore été suffisamment étudiée. Je trouve que le porte-vent à travers lequel on souffle une languette membraneuse, influe tout autant sur l'abaissement du son que le tuyau ajusté à cette dernière. C'est là également un point de la plus haute importance par rapport à l'organe de la voix, et qui mérite d'être examiné ici.

En général, il y a cinq états dans lesquels une languette peut être amenée à produire dn son.

1° Par le courant d'air qui sort d'un petit tube délié sans porte-vent ni tuyau ni châssis ; le son, comme nous l'avons vu, est déjà différent de celui qu'on obtient d'une languette tendue dans un châssis, lorsqu'on embrasse celui-ci avec les lèvres et qu'on souffle avec la bouche.

2° La languette est limitée par un châssis, et on la fait parler, sans porte-voix ni tuyau, à l'aide de la bouche, les organes respiratoires seuls faisant office de soufflet.

3° La languette est pourvue d'un tuyau, et on souffle à l'aide de la bouche, sans porte-vent.

4° La languette est sans tuyau, et on la fait parler au moyen d'un porte-vent sur lequel elle est tendue.

5° La languette est pourvue d'un tuyau et d'un porte-vent.

Dans tous ces cas, le son fondamental de la languette est différent.

Quant à l'union de la languette avec un porte-vent, il faut d'abord examiner le cas le plus simple, celui d'une languette sans embouchure, et qui se trouve à l'extrémité du porte-vent.

Le changement des sons suivant les longueurs diverses du porte-vent est ici la même absolument que dans les corps de tuyau de longueur diverse. En allongeant le porte-vent, le son baisse par semi-tons jusqu'à une certaine limite, qui ne s'étend pas non plus jusqu'à l'octave. En allongeant davantage, le son revient par un saut à sa hauteur primitive, puis s'abaisse à mesure que l'allongement fait des progrès, revient tout à coup au même son aigu, puis baisse encore, et ainsi de suite. Cependant il n'y a point accord parfait entre les longueurs d'un corps de tuyau et celles d'un porte-vent qui sont nécessaires pour la production d'un certain son. Je me suis servi, pour ces expériences, d'une languette unilabiale en caoutchouc, tendue sur un tube long d'un demi-pouce. Vis-à-vis du bord de la languette se trouvait une plaque de bois solide, comme dans la série précédente d'expériences. Cette languette à son fixe et déterminé était, dans un cas, pourvue d'un corps de tuyau et soufflée avec la bouche, en embrassant des lèvres le pourtour du châssis ; dans le second cas, elle était soufflée, sans corps de tuyau, à l'aide d'un porte-vent, qu'on pouvait allonger à volonté, comme, dans l'autre cas, le corps de tuyau. La table suivante contient les longueurs du corps de tuyau et du porte-vent qui étaient nécessaires pour obtenir les mêmes sons de la languette rendant un même son dans les deux cas. Le son de cette languette seule, embouchée avec les lèvres, était *si*$_3$.

SONS.	PORTE-VENT SANS CORPS DE TUYAU.	SONS.	CORPS DE TUYAU SANSPORTE-VENT.
	Pouc. lig.		Pouc. lig.
$la\sharp_3$	4 6	$la\sharp_3$	1 2
la_3	9 10	la_3	2
$sol\sharp_3$	13	$sol\sharp_3$	2—5 6
sol_3	15 6	sol_3	7 6
$fa\sharp_3$	17 6	$fa\sharp_3$	9
fa_3	19	fa_3	10
		mi_3	13
		$ré\sharp_3$	17
fa_3 et $la\sharp_3$	20. Saut du son.	$la\sharp_3$+	22 4. Saut du s.
la_3	24 6		
$sol\sharp_3$	27 6		
sol_3	29	sol_3	23
$fa\sharp_3$	32	$fa\sharp_3$	25 6
		fa_3	27 6
		mi_3	32
		$ré\sharp_3$	39 6
fa_3 et $la\sharp_3$	35. Saut du son.		
la_3	37		
$sol\sharp_3$	42		
sol_3	46	sol_3	40 $ré\sharp_3$ s. à sol_3.
		$fa\sharp_3$	42
		fa_3	45

Une seconde expérience comparative me donna les résultats suivans. (Le son fondamental de la languette seule était *mi*^{4}.)

SONS.	PORTE-VENT SANS CORPS DE TUYAU.		SONS.	CORPS DE TUYAU SANS PORTE-VENT.	
	Pouc.	lig.		Pouc.	lig.
			mi^4	1	
			ré$\sharp_4$	3	
ré$_4$	4	9	*ré*^{4}	3	9
ut$_4\sharp$	6		*ut*$\sharp_4$	4	9
ut$_4$	7	6	*ut*$_4$	5	6
si$_3$	9	6	*si*$_3$	6	2
			la$\sharp_3$	7	4
la$_3$	10		*la*$_3$	10	
			mi$_4$—*ré*$\sharp_4$	13	6. Saut.
ré$_4$	15	9. Saut.	*ré*$_4$	15	
ut$\sharp_4$	18	9	*ut*$\sharp_4$	15	8
			ut$_4$	17	6
si$_3$	22		*si*$_3$	20	
			la$_3$	24	
			ré$\sharp_4$	28.	Saut.
ré$_4$	24	9. Saut.	*ré*$_4$	29	6
ut$_4$	30	6	*ut*$_4$	30	
	Ne parle plus.		*si*$_3$	30	6
			la$\sharp_3$	34	
			la$_3$	35	
			ré$\sharp_4$—*mi*$_4$	41	6. Saut.
			ut$_4$	42	
			si$_3$	43	6

Enfin il faut encore parler de la modification que le son de la languette éprouve quand on rétrécit le porte-vent à l'une ou à l'autre des extrémités.

Si l'on introduit dans un porte-vent court, du côté où se trouve la languette, un bouchon percé, à son milieu, d'un trou par lequel seul le courant d'air puisse passer, le son devient plus aigu. Cette influence agit de la même manière que quand on raccourcit l'ouverture.

Si, au contraire, on rétrécit le porte-vent du côté opposé, où se trouve la languette et où l'on applique les lèvres, et cela en rendant l'ouverture plus petite, le ton devient plus grave, quand il n'a point été abaissé par la longueur du porte-vent; car lorsque cette dernière cause lui a imprimé beaucoup de gravité, l'étroitesse de l'embouchure n'amène aucun changement, ou même élève un peu le son.

4. *Anches membraneuses avec corps de tuyau et porte-vent.*

Non seulement les longueurs que le porte-vent et le corps de tuyau seuls doivent avoir pour qu'on obtienne un certain abaissement du son d'une languette ne sont pas égales mais encore il n'y a pas non plus compensation de l'une par l'autre. S'il s'opérait une compensation, il est clair que quand une longueur n du corps de tuyau donnerait le son x avec la languette sans porte-vent, une longueur moindre de ce tuyau, $n - a$ devrait, avec un porte-vent a, reproduire le son x. Or c'est ce qui n'arrive point. Ainsi, par exemple, un corps de tuyau de douze pouces et demi donnait *fa*$\sharp_3$ avec la languette; mais si ces douze pouces et demi se trouvaient répartis de manière qu'il y en eût six et un quart pour le corps du tuyau et autant pour le porte-vent, le son était *sol*$\sharp_3$. Un corps de tuyau de sept pouces et demi donnait *la*$\sharp_3$ avec une languette; ces sept pouces et demi, distribués entre le corps de tuyau et le porte-vent, donnaient *ré*$_4$.

Si l'on rend le corps de tuyau et le porte-vent assez longs chacun pour que le premier donne avec la languette (en soufflant de la bouche) le même son que celui auquel la languette

donne lieu avec le porte-vent seul soufflé par l'autre bout, on obtient le même son de cette languette munie d'un corps de tuyau en avant et d'un porte-vent en arrière. Cette expérience a été répétée bien des fois, et le résultat n'a jamais varié. De cette particularité et de ce qui précède, il semble découler que les colonnes d'air du corps de tuyau et du porte-vent influent chacune sur le son de la languette, en sorte que si le corps de tuyau et le porte-vent, essayés chacun à part avec la languette, donnaient des sons différens, ils exerceraient aussi une influence différente sur la languette. Le tuyau à anche devient donc plus compliqué encore, par l'addition d'un porte-vent, qu'il ne l'était déjà par celle d'un corps de tuyau, et comme chaque fois qu'il parle, que ce soit par l'effet de la bouche ou par celui d'un soufflet, le réservoir d'air doit toujours être considéré comme porte-vent, la simple expérience d'une languette avec corps de tuyau qu'on fait parler à l'aide de la bouche donne un exemple du son modifié par un porte-vent. Connaître l'action réciproque de ces influences serait de la plus haute importance pour la théorie de la voix, puisque là il y a à la fois un corps de tuyau (l'espace au devant des ligamens inférieurs de la glotte) et un porte-vent (trachée-artère et bronches). Mais c'est un des problèmes les plus difficiles de l'acoustique, et il m'a été impossible d'arriver à rien qui se rapprochât d'une règle. Je ne vois que la confirmation constante du fait qu'à une certaine longueur du corps de tuyau, l'allongement du porte-vent change toujours le son, jusqu'à ce que les influences réciproques soient devenues égales. Lorsque le porte-vent a une longueur déterminée, et qu'on allonge le corps du tuyau, on obtient un abaissement jusqu'à une certaine limite; allonge-t-on davantage, le son repasse par un saut à son élévation primitive; puis, après un nouvel allongement, descend encore jusqu'à ce qu'il saute de nouveau, ce qui se reproduit avec régularité. Quelques unes des expériences citées précédemment, dans lesquelles on se

servait d'un court porte-vent pour faire parler la languette munie d'un corps de tuyau, appartiennent déjà ici.

Dans une anche longue de six pouces, le son fondamental *ré*$_4$ tombait à *mi*#$_4$ avec un corps de tuyau de quatre pouces; un tuyau de quatre pouces et demi le ramenait à *ré*#$_4$; il tombait à cinq pouces, et atteignait *ré*$_4$ avant six pouces; à partir de ce dernier terme, il retombait, et à huit pouces et demi il était *ut*#$_4$, ce qu'il restait jusqu'à seize pouces et demi; là il remontait de nouveau à *ré*$_4$; de dix-huit à vingt-quatre pouces, il était plus grave, *ut*$_4$; à vingt-sept pouces et demi, il remontait à *ré*$_4$; à trente pouces et demi, il était retombé à *ut*#$_4$, et il restait là jusqu'à quatre pieds.

5. *Instrumens de musique à anches membraneuses.*

Les appareils dont il a été question jusqu'ici forment une section d'instrumens à anche dont on n'a fait jusqu'ici aucun usage en musique. L'organe de la voix de l'homme et celui des Oiseaux appartiennent, comme nous le verrons, à la même catégorie. Dans le premier, les ligamens inférieurs de la glotte sont des anches à deux lèvres; le corps de tuyau est l'espace qui s'étend depuis les cordes vocales jusqu'aux ouvertures buccale et nasale; la trachée-artère et les bronches sont le porte-vent. Dans le second, les cordes vocales du larynx inférieur, à la bifurcation de la trachée-artère et de chaque côté, constituent des anches; la colonne d'air du corps de tuyau est ici la masse d'air contenue dans la trachée-artère tout entière, depuis sa division jusqu'au larynx supérieur, et l'air de la cavité buccale; celle du porte-vent n'est que l'air des bronches, depuis la bifurcation de la trachée jusqu'aux poumons.

Mais les lèvres de l'homme peuvent aussi agir comme anches, lorsque la contraction des muscles les met à l'état de tension; dépourvues d'élasticité par elles-mêmes, elles en obtiennent un équivalent par la contraction de leur sphincter.

Si l'on fait sortir l'air avec pression entre les lèvres tendues par leur muscle orbiculaire, il se produit des sons qui appartiennent à la classe de ceux des instrumens à anche. La cavité buccale et les organes respiratoires font alors office de porte-vent. L'instrument est un instrument à anche avec porte-vent, sans corps de tuyau. Adapte-t-on aux lèvres un tuyau en carton ou en métal, non seulement le son devient plus plein, mais encore il peut être modifié par le tuyau.

La même chose arrive à l'anus. Le sphincter tend la peau de l'anus, et la fait agir comme une languette avec porte-vent (les gaz intestinaux), sans corps de tuyau.

Aux instrumens à anche dont il a été question jusqu'ici tiennent de très-près les trompettes et les cors, dans lesquels les lèvres sont mises en mouvement, comme anches membraneuses, par le souffle, tandis que la colonne d'air du tuyau résonne ainsi qu'elle le fait dans les instrumens à anche ordinaires. Dans ceux-ci, l'anche est une pièce à part, qui, séparée de l'instrument, produit des sons à elle seule. Dans les cors, les trompettes, les trombones, il ne suffit pas de souffler dans ce qu'on appelle l'embouchure pour produire un son : il faut encore que les lèvres elles-mêmes fassent l'office d'anche, et elles sont effectivement les languettes membraneuses entre lesquelles le courant d'air se trouve refoulé. Le muscle orbiculaire remplace l'élasticité qui leur manque, par la réaction qu'il exerce sur le filet d'air qui les traverse; il se produit des sons d'une valeur déterminée, et d'autant plus aigus que les lèvres se contractent davantage. Il semble que la grandeur de l'ouverture influe sur le son de ces sortes d'anches, comme elle le fait quand on siffle, et, en effet, le sifflement avec la bouche, qui paraît ne point appartenir ici, devient plus grave quand l'ouverture des lèvres est plus grande. Cependant, comme une contraction plus forte du sphincter de la bouche a lieu quand on resserre l'ouverture des lèvres, l'étroitesse de cette ouverture, dans la position

que les lèvres affectent lorsqu'on sonne de la trompette, produit absolument le même effet qu'une tension plus considérable sur les languettes membraneuses élastiques.

L'embouchure de la trompette est d'abord creusée en forme de godet, après quoi elle se rétrécit. Celui qui veut sonner de l'instrument applique le bord de cette excavation sur ses lèvres, et chasse l'air par une étroite ouverture de celles-ci, aux bords desquelles le sphincter procure une tension déterminée. L'élévation du son doit croître avec la force de la tension que les lèvres acquièrent par la contraction de leur muscle orbiculaire. Il faut qu'un vide se trouve au devant des lèvres, sans quoi leur bord tendu ne pourrait point agir comme anche : aussi quand le godet de l'embouchure se trouve rempli au point qu'il ne reste plus qu'un étroit passage dans le milieu, on a beau souffler, aucun son ne se fait entendre. Ce qui prouve bien que telle est la cause essentielle du son de la trompette, c'est que, sans embouchure, avec les seules lèvres tendues par la contraction du sphincter, on peut produire un son semblable à celui de l'instrument. Une seule lèvre est même suffisante pour déterminer des tremblemens qui sont perçus comme sons, par exemple, quand on porte la lèvre supérieure fort loin au dessus de l'inférieure, et qu'ensuite on chasse l'air entre la lèvre supérieure vibrante et la surface ferme de l'inférieure. L'embouchure du cor diffère de celle de la trompette en ce qu'au lieu d'un godet, elle présente une excavation conique ; mais la manière d'y appliquer les lèvres est la même ; il ne faut pas que les bords de celles-ci touchent.

Biot traite des trompettes et des cors en parlant des instrumens à vent. Il attribue les différens sons que ces instrumens donnent à la différence de force avec laquelle le souffle pousse la colonne d'air de la trompette, de même que la colonne d'air d'un sifflet donne, quand on souffle plus fort, les sons correspondans aux nombres 1, 2, 3, 4, 5 (ouverts), ou 1, 3, 5, 7

(fermés). Mais la force du souffle élève ici très-peu le son, et ne fait que le rendre plus intense ; la différence des sons dépend de la tension des lèvres. Il est plus exact de rapporter les trompettes et les corps aux instrumens à anche, ainsi que l'a fait Muncke. Ce sont évidemment, comme il ressort de tout ce qui précède, des tuyaux à anche à languette membraneuse, dans lesquels le timbre du son est changé par le métal du corps de tuyau, et l'élévation de celui de l'embouchure par la colonne d'air de ce tuyau, qui entre simultanément en vibration sonore. Les sons de la trompette et du cor ne croissent pas non plus en élévation dans une proportion inverse de la longuenr du tuyau, comme il arrive aux instrumens à vent : on sait, au contraire, qne dans la trompette, la diminution ou l'accroissement de la longueur du tuyau n'a qu'une influence faible et subordonnée sur l'élévation du son, absolument comme dans les tnyaux à anche. Le changement de son que l'on cherche à obtenir ainsi, est opéré, pour les trompettes et les cors, par la main introduite dans le pavillon, pour les trombones, par les tractions exercées sur leurs tuyaux mobiles. Il y a dans les cors et les trompettes presque autant de positions à donner à la main, en l'introduisant dans le pavillon, que d'espèces de sons. Qnant à l'élévation du son de ces instrumens, on parvient à la changer par deux autres moyens, comme dans les instrumens à anche ; d'abord, en variant la tension des lèvres, qui doit exercer à cet égard la même influence qu'une tension plus forte de la languette membraneuse d'un tuyau d'anche ; ensuite, à l'aide de l'obturation, qui abaisse le son, précisément comme elle le fait dans les tuyaux d'anche à languette membraneuse.

Le cor, entre les mains d'un artiste exercé, embrasse trois octaves, sans qu'on soit obligé d'introduire la main dans le pavillon, et voici quelle est la succession des sons :

Ut, *sol*, ut_2 mi_2 sol_2 ut_3 re_3 mi_3 sol_3 si_3 ut_4. La succession entière des sons qu'on peut produire à l'aide de la main est

ut, *fa*, sol, *si*, ut_2 *re_2* mi_2 *fa_2* sol_2 *la_2* *si_2* ut_3, re_3 mi_3 *fa_3* sol_3 *la_3* si_3 ut_4. Les lettres italiques indiquent les sons qui s'obtiennent avec la main introduite dans le pavillon; *la_3* exige qu'on bouche à moitié seulement. Les semi-tons peuvent aussi, en partie, être produits par la main bouchant à demi le pavillon. Comme le principal moyen est la tension des lèvres par la contraction musculaire, l'exécutant qui s'est fatigué à sonner du cor perd son aptitude pendant quelque temps. Ce sont surtout les sons élevés qui fatiguent, non par la force du souffle, mais par la tension des lèvres.

Les trous latéraux, fermés par des clefs, qu'on a ajoutés dans ces derniers temps aux trompettes et aux cors, ont ici les mêmes usages qu'à l'égard des autres instrumens à anche, la clarinette, le hautbois et le basson.

Après avoir passé en revue les différentes espèces d'instrumens à anche, tant ceux à languette élastique rigide, que ceux à languette élastique membraneuse, il convient de revenir sur la théorie des sons produits par les anches. Cependant il va être question non des vibrations de l'air dans le corps de tuyau, mais de celles de l'anche elle-même.

6. *Conclusions sur la théorie des sons produits par les anches.*

Ayant appris à connaître, dans ces derniers temps, des sons qui sont produits par le simple choc de liquides, comme ceux de la sirène, ou par les chocs se succédant avec rapidité d'un corps solide, comme ceux qui résultent des secousses données par les dents d'une roue, on a été tenté d'admettre que les sons des anches dépendent aussi des chocs de l'air qu'à chaque vibration elles empêchent de sortir de leur châssis. Le défaut d'éclat des sons que les anches donnent par percussion ou par pincement, sans souffle, semble justifier cette théorie. Cependant elle n'est pas prouvée, et plusieurs argumens s'élèvent contre elle d'une manière formelle. La discussion de ce point est d'une grande

importance pour la théorie de la voix humaine : en effet, il s'agit ici surtout de savoir qui résonne primitivement, dans la voix, des ligamens de la glotte ou de l'air.

G. Weber, aux recherches classiques duquel nous devons une connaissance certaine des effets qui ont lieu dans les tuyaux d'anche, se prononce positivement en faveur de l'hypothèse dont je viens de parler. Voici comment il s'exprime : Le son plein et fort que rend une plaque métallique qui vibre isolément dans son châssis lorsqu'on souffle dessus, ne peut être produit par la plaque vibrante ; car alors il ne serait pas nécessaire d'exciter le son de celle-ci par un courant d'air, et elle donnerait un son absolument pareil, quant à l'élévation et à la plénitude, lorsqu'elle viendrait à être mise d'une manière quelconque en vibration, sans subir aucun changement dans sa situation et ses rapports, ce qui n'est pas. En effet, Weber a excité, au moyen d'un archet de violon, les plus violentes vibrations dans la plaque pendant qu'elle demeurait unie avec les autres parties de l'instrument, sans parvenir à lui faire rendre un son plein et fort, susceptible d'être comparé ; cependant je trouve que le son d'une guimbarde qu'on tient à la bouche est le même par l'effet de la percussion et quand on aspire l'air. Cette preuve ne me paraît pas décisive, et néanmoins il me semble que, dans les anches membraneuses, l'interruption du courant d'air ou les chocs n'exercent qu'une influence subordonnée sur la production du son, qu'ils contribuent seulement à le rendre plus fort et plus plein, mais que leur effet n'est pas de lui donner naissance. Les motifs suivans ne font regarder comme invraisemblable la théorie qui attribue les sons des anches membraneuses aux pulsations de l'air.

1° Il n'y a aucune raison d'admettre que les sons des anches simples proviennent des interruptions du courant d'air, puisque les sons que les anches elles-mêmes doivent donner quand elles vibrent, suffisent pour expliquer les premiers. A la vérité,

les sons que les anches membraneuses produisent par percussion, sont dépourvus d'éclat, et n'ont pas non plus le même timbre que les sons d'anche. Mais la première différence s'explique sans peine ; car un choc qui ne se répète pas plus d'une fois ne suffit point pour entretenir les vibrations. Quant à celle du timbre, on ne peut la mettre en doute : cependant il y a d'autres instrumens encore qui donnent des sons d'un timbre divers lorsqu'on les fait parler soit par une seule percussion, soit par une succession de chocs. C'est ce qui arrive, entre autres, à une corde lorsqu'on la pince ou qu'on fait passer dessus un archet de violon. La même chose a lieu pour les sons d'anche, suivant que l'impulsion est momentanée ou soutenue. A la vérité, il y a des membranes, comme les lèvres et le sphincter de l'ânus, qui ne résonnent point par la percussion, et qui donnent des sons d'anche très-forts par le souffle ; mais il ne s'agit jamais, quant à ce qui regarde la manifestation d'un son, que du nombre de vibrations nécessaire pour le produire : or l'expérience autorise seulement à conclure que, dans ces sortes de membranes, une succession régulière de vibrations n'est possible qu'autant qu'un certain état de tension persiste pendant qu'elles reçoivent le choc de l'air, et cette condition n'existe pas lorsqu'il s'agit d'une simple percussion.

2° Les sons que j'ai produits en soufflant avec un tube délié sur des languettes métalliques, et mieux encore sur des languettes membraneuses sans châssis, ne sauraient être expliqués par les seules interruptions du courant d'air ; ils ressemblent parfaitement, pour le timbre, à ceux que ces languettes rendent lorsqu'elles vibrent dans un cadre et agissent comme de véritables anches. A la vérité, on pourrait dire que les vibrations rétrogrades de la languette gênent aussi jusqu'à un certain point le filet d'air sortant du tube. Mais il serait difficile de voir là une interruption réelle, puisque le courant d'air change de direction à mesure que la languette

recule. Le filet d'air, qui exerce une action soutenue, est bien plutôt comparable, sous ce rapport, à l'archet de violon frottant une corde.

3° Il n'est pas non plus nécessaire, du moins pour les languettes membraneuses, que le châssis se ferme périodiquement pendant les vibrations de la languette. Alors même que la fente présente une largeur constante d'une ligne, les languettes membraneuses donnent souvent encore des sons clairs, et ces sons ne diffèrent pas, pour le timbre, de ceux que les mêmes languettes font entendre quand la fente est très-étroite.

4° Si la théorie qui attribue les sons d'anche aux interruptions du courant d'air était exacte, les sons devraient croître en raison directe du nombre des interruptions, ce qui n'est nullement démontré. Il y a une position de la languette par rapport au châssis, dans laquelle elle détermine une fois autant d'interruptions du courant d'air qu'elle même fait de vibrations ; c'est celle dans laquelle elle bat à travers l'ouverture du châssis ; car, en le traversant, puis en revenant sur elle-même, elle interrompt deux fois le courant d'air ; le nombre des interruptions est au moins double de celui qui a lieu quand la languette ne fait que frapper juste dans l'ouverture du châssis et revient aussitôt sur elle-même. Le son d'une languette qui traverse son châssis devrait donc, toutes choses égales d'ailleurs, être plus aigu d'une octave que celui de la même languette exécutant des battemens simples ; or cela n'a pas lieu. A la vérité, on pourrait objecter que, dans le premier cas, elle décrit des arcs entiers de vibration, tandis que dans le second elle ne décrit que des demi-arcs, étant retenue soit par le châssis lui-même, soit par le courant d'air, de manière que, dans la seconde circonstance, elle vibre avec une fois plus de vitesse que dans la première, et qu'ainsi les interruptions du courant d'air sont égales de part et d'autre. Mais, en examinant la manière dont se com-

portent les languettes membraneuses, on rencontre encore des difficultés. Si j'applique une lame de carton ou de bois sur une languette membraneuse tendue à l'extrémité d'un porte-vent, le son demeure le même, que la plaque soit directement en face de la languette, c'est-à-dire sur le même plan, ou qu'elle s'enfonce de dehors en dedans du côté du porte-vent ; dans les deux cas, la languette décrit également des arcs entiers. Mais si j'applique la lame de manière que son bord dépasse le plan de la languette, le son produit en soufflant dans le porte-vent, est beaucoup plus grave : il l'est souvent de l'intervalle compris entre *ut* et *fa*. Que la lame fasse saillie en avant ou en arrière de la languette, les arcs de vibration demeureront les mêmes, et cependant les sons seront différens. Mais la différence tient à la manière diverse dont l'air est poussé dans les deux cas, et à la résistance diverse que le courant continu de cet air oppose, dans les deux cas, aux vibrations récurrentes de la languette.

D'après ces motifs, il est vraisemblable que les languettes résonnent, non point par des interruptions du courant d'air, mais par leurs propres vibrations, et que les chocs imprimés à l'air ne font que renforcer jusqu'à un certain point le son. Sous ce rapport, les languettes métalliques se comportent, en général, comme les verges, les languettes membraneuses comme les cordes et les peaux tendues, et le son se produit d'autant plus facilement qu'un pareil corps possède encore davantage d'élasticité malgré son peu de longueur. En étudiant les vibrations des corps élastiques tendus, on s'est trop attaché à une espèce de ces corps, aux cordes à boyau et autres analogues. Il est bien vrai que les cordes qu'on raccourcit beaucoup, en même temps qu'on diminue leur tension, perdent presque toute aptitude à produire des vibrations sonores ; mais si, après leur détente, elles conservaient encore de l'élasticité, quelque courtes qu'elles fussent, elles n'en seraient pas moins capables de donner des sons

graves. Or il y a d'autres corps qui, bien qu'étant très-détendus, conservent assez d'élasticité pour pouvoir vibrer régulièrement ; tels sont le caoutchouc à l'état sec et les tissus animaux (tunique artérielle) à l'état humide : aussi les pièces très-courtes de ces corps produisent-elles des sons graves quand elles sont peu tendues et des sons aigus quand elles éprouvent une tension plus forte, et cela aussi bien par la percussion que par le souffle. Leurs vibrations changent, à tension égale, d'après la même loi exactement que celles des cordes, c'est-à-dire qu'elles croissent en raison inverse de la longueur, comme je l'ai fait voir précédemment.

Quelqu'exact que soit ce parallèle, cependant un corps élastique par tension qui vibre comme anche, diffère d'une corde sous plusieurs points de vue essentiels. La différence ne consiste pas en ce que la corde, après avoir été percutée, demeure abandonnée à elle-même, tandis que l'anche éprouve, de la part du courant d'air, des chocs continuels, tantôt plus et tantôt moins forts, puisque la percussion de la corde se renouvelle continuellement à l'aide de l'archet. Ce qu'il y a de particulier dans une anche, c'est que le degré d'intensité du choc soutenu influe sur la durée de ses vibrations, et change beaucoup le son fondamental qu'elle donne par percussion. J'ai fait voir précédemment qu'une languette en caoutchouc qu'on fait parler sans châsssis, au moyen d'un tube délié, élève son son fondamental d'un semi-ton et plus, lorsque le souffle devient plus fort. Mais une corde qu'on ne percute qu'une seule fois, rend un son un peu plus grave quand le choc est fort que lorsqu'il est faible. Ce dernier effet s'explique en partie par le changement qu'une forte tension imprime à la corde, qui devient plus longue, et qui ne revient pas de suite à son précédent état; peut-être aussi dépend-il en partie d'une sorte de torsion des molécules de la corde qui reposent sur le chevalet. Mais cette explication ne saurait s'appliquer à l'élévation du son d'une anche; car le résultat est précisé-

ment inverse de ce qui a lieu dans une corde. Lorsqu'une languette membraneuse vibre dans un châssis, la force du souffle élève le son, comme je l'ai fait voir, de plusieurs semi-tons, et, ainsi que je l'ai montré aussi, le son d'une membrane animale élastique humide peut être élevé par semi-tons d'une demi-quinte entière en soufflant avec force. Cette élévation n'est pas la suite d'une formation de nœuds de vibration, comme dans une colonne d'air vibrante, car elle a lieu d'une manière successive, en passant par les intervalles des semi-tons, et, lorsqu'on accroît successivement la force du souffle, par tous les intervalles des semi-tons d'une manière criarde : elle ne dépend donc pas de la languette immédiatement, mais du corps choquant, de l'air. Probablement l'élévation résulte de ce que, quand on souffle avec plus de force, l'air, qui agit sans interruption, communique à la languette un mouvement plus accéléré, jusqu'à ce qu'elle sorte du courant, tandis qu'au retour il la repousse plus tôt que ne le ferait un souffle moins fort, de sorte que la languette ne fait pas d'excursions rétrogrades pleines, étant chassée de nouveau avant de les avoir accomplies.

Les languettes métalliques semblent bien se comporter à l'inverse des languettes membraneuses, puisqu'elles donnent un son plus élevé quand on souffle doucement que lorsqu'on souffle fort. Cependant ce phénomène paraît tenir uniquement à ce que, quand le souffle est faible, la languette n'entre point en vibration dans toute sa longueur, jusqu'à son attache. En effet, lorsque je souffle très-fort dans une harmonica à bouche, le son finit par s'élever d'une manière très-sensible, de sorte que sous ce rapport aussi il y a concordance entre les deux sortes de languettes.

Il appartient donc à la nature des anches que, bien qu'elles se comportent en général comme les verges et les cordes, elles changent cependant leurs sons en proportion de l'action du corps qui les fait parler, de l'air. D'après cela, il faut les

regarder comme une classe particulière d'instrumens, à l'égard desquels les propriétés des corps élastiques tant solides que liquides doivent être prises simultanément en considération.

Les autres instrumens de musique ne se rapprochent des anches que sous quelques rapports, par exemple, eu égard à cette circonstance que les sons dépendent aussi en quelque sorte du corps qui donne l'impulsion, surtout lorsqu'il agit avec continuité. Ce rapprochement a lieu pour les cordes qu'on fait parler d'une manière soutenue avec l'archet. Duhamel a fait voir comment on peut parvenir, par un certain maniement de l'archet, en changeant le frottement et la vitesse, à obtenir des sons plus graves que le son fondamental. Il dit avoir obtenu la seconde, la quarte, la quinzième, la douzième et la quatorzième au dessous du son ordinaire de la corde. Je puis, d'après ma propre expérience, citer un autre exemple, en sens inverse, tiré des tuyaux d'anche. On sait qu'en soufflant avec plus de force, on parvient à produire, avec un sifflet ouvert, les sons correspondans aux nombres 1, 3, 5, 7, 9, etc., et avec un sifflet bouché ceux qui correspondent aux nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc. Ces sons doivent naissance à la production de nœuds de vibration dans la colonne d'air du sifflet, et n'ont rien à faire ici. Mais j'ai remarqué une tout autre élévation du son sur des tuyaux d'anche suffisamment petits. Lorsque j'enfonce jusqu'à deux pouces le bouchon d'un sifflet d'un pied, l'instrument, en graduant le souffle depuis le plus faible jusqu'au plus fort, donne successivement, et en passant par toutes les nuances, tous les sons de l'intervalle entier d'*ut* à *la*; et si j'emploie un sifflet d'un pouce, l'élévation est portée bien plus loin encore. Les modifications que les sons éprouvent dans les anches ne se bornent pas à leur seule ascension par l'effet de l'accroissement du souffle; leur élévation varie aussi sous l'influence du corps d'où émane le choc, puisqu'elle change suivant qu'on fait parler la languette sans châssis avec un petit tube, ou dans un châssis avec un porte-

vent ; ils sont également modifiés par l'air, suivant qu'on le pousse ou qu'on l'attire, et par le mode d'embouchure, puisque les sons d'une même anche deviennent plus graves de quelques semi-tons lorsqu'on pince beaucoup les lèvres pour emboucher le porte-vent, et plus aigus lorsqu'au devant de l'anche le porte-vent se trouve garni d'un bouchon qui ne permet pas à l'air de passer ailleurs que par le milieu. Nul doute que toutes ces modifications ne se rapportent à un changement dans le mode d'action du corps impulsif sur la languette.

CHAPITRE II

De la voix, de l'organe vocal et des autres organes producteurs de sons, chez l'homme et les animaux.

Les recherches qui précèdent nous fournissent une base pour apprécier les moyens à l'aide desquels la voix de l'homme et tous les autres sons qu'on observe, tant dans notre espèce que chez les animaux, se produisent. Nous examinerons trois formations principales de sons musicaux, la voix de l'homme et des Mammifères, les sons qui se produisent dans la bouche de l'homme, et la voix des Oiseaux. Dans ces trois cas, effectivement, la production du son s'effectue par des moyens divers et à des endroits différens. Les sons de la voix des Mammifères naissent dans le larynx, et sont un peu modifiés, quant au timbre et au ton, par les parties situées au devant de cet organe, que l'air traverse. La faculté de siffler met l'homme en possession d'un tout autre registre de sons, dont la source est dans les lèvres et l'air de la cavité buccale. La voix des Oiseaux se produit dans un autre lieu encore, non pas dans le larynx supérieur, mais dans l'inférieur, celui qui occupe la bifurcation de la trachée-artère. La voix des autres animaux vertébrés qui en ont une encore, se forme dans le larynx, comme chez l'homme et les Mammifères ; telle est, par exemple, celle des Grenouilles, des Crapauds, etc. Il existe, en outre, chez certains animaux, même

parmi ceux des classes inférieures, des appareils producteurs de sons, dont je ne m'occuperai pas ici, parce qu'ils m'entraîneraient trop loin de mon but (1).

I. Voix de l'homme.

A. *Organe vocal de l'homme, en général.*

S'il est, dans la théorie de la voix humaine, une question à laquelle on puisse répondre sur-le-champ, c'est celle de savoir dans quelle partie des voies aériennes la voix se forme. Les observations recueillies sur l'homme vivant et les expériences faites sur le larynx humain démontrent qu'elle se produit dans la glotte même, ni au dessus ni au dessous. Lorsqu'il existe une ouverture accidentelle à la trachée-artère d'un homme, ou qu'on en pratique une à celle d'un animal, la voix cesse, et elle reparaît dès qu'on bouche l'ouverture. C'est une expérience qui a été faite très-souvent, et qui ne s'est jamais démentie. Au contraire, une ouverture pratiquée à la partie supérieure des voies aériennes, au dessus de la glotte, ne supprime pas la voix. Magendie s'est convaincu aussi que la voix persiste malgré la lésion de l'épiglotte, des ligamens supérieurs de la glotte et du sommet des cartilages

(1) Consultez, sur la voix de l'homme, Dodart, dans les *Mémoires de l'Acad. des sc.*, années 1700, 1706, 1707.—Ferrein, *ibid.*, 1741.—Magendie, *Précis élémentaire de physiologie*, Paris. 1836, t. I, p. 264, et *Dict. de médecine et de chirurgie-pratiques*, art. Bégaiement, t. IV, p. 63.—Dutrochet, *Mémoire pour servir à l'histoire anatomique et physique des animaux et des végétaux*, Paris. 1837, t. II, pag. 519 et suiv.—Biot, *Traité de physique*, t. II, p. 190.—Savart, dans les *Annales de chimie*, t. XXX, p. 64.—Liscovius, *Theorie der Stimme*, Leipzick, 1814.—Chladni, dans les *Annales de Gilbert*, t. XCVI, p. 187.—Mayer, dans les *Archives de Meckel*, 1826.—Bennati, *Recherches sur le mécanisme de la voix humaine*, Paris, 1832.—Muncke, dans le *Dictionn. de phys. de Gehler*, t. VIII, p. 373.—Mayo, dans les *Outlines of human physiology*, 1833.—Ch. Bell, dans les *Philos. Trans.*, 1832.—Malgaigne, dans les *Archives générales de médecine*, t. XXV.—Willis, dans les *Transact. of the Cambridge phil. soc.*, 1833.—Bishop, dans *Lond. and Edinb. phil. magaz.*, 1836.—Lehfeldt, *Diss. de vocis formatione*, Berlin, 1835.

aryténoïdes. Il a reconnu, de plns, sur des animaux vivans dont la glotte avait été mise à découvert, que les ligamens qui entourent cette dernière entrent en vibration lorsque l'animal laisse échapper des sons. On sait également que la lésion des nerfs laryngés, sous la dépendance desquels sont les petits muscles qui changent la configuration de la glotte et tendent les cordes vocales, abolit la faculté de former des sons, et que la paralysie, sous ce rapport, est complète quand les deux nerfs laryngés ont été coupés des deux côtés. Qu'on essaie de produire des sons avec le larynx d'un cadavre humain, en soufflant par la trachée-artère, ce à quoi le moins exercé parvient pourvu que les ligamens inférieurs de la glotte soient un pen tendus et la glotte elle-même rétrécie, on en obtient effectivement; peu importe que le tronçon de trachée par lequel on souffle soit long ou court; il peut même n'y en avoir pas de trace, et le résultat n'en sera pas moins le même en soufflant par l'extrémité inférieure du larynx. Un larynx ainsi détaché du corps peut être dépouillé de toutes les parties situées au devant de la glotte, de l'épiglotte, des ligamens supérieurs, des ventricules compris entre les ligamens supérieurs et des cordes vocales, même de la plus grande partie du sommet des cartilages aryténoïdes; pourvu que la fente entre les ligamens inférieurs subsiste encore, et que cette fente soit étroite, l'organe n'en donnera pas moins des sons purs, aussitôt qu'on soufflera par la trachée-artère. De tout cela il suit que la cause essentielle de la voix réside dans la glotte, que la trachée-artère se comporte comme la soufflerie d'un instrument à vent, et que le tube situé en avant de la glotte, avec la partie supérieure de la cavité laryngienne, entre les ventricules de Morgagni, les ligamens inférieurs et supérieurs, et l'épiglotte, jusqu'aux cavités nasale et orale, correspondent au corps de tuyau de cet instrument, qui modifie bien le son, mais ne le produit pas. En cela, l'organe vocal de l'homme et des Mammifères diffère essen-

tiellement de celui des Oiseaux. Chez ces derniers animaux la voix s'engendre dans un larynx spécial situé à la bifurcation de la trachée-artère ; le larynx supérieur n'a pas de ligamens vocaux, et l'on ne peut en tirer aucûn son, tandis que le larynx inférienr continue de parler après l'ouverture ou la section de la trachée-artère qui le surmonte, et qu'il donne également des sons quand on le souffle par les bronches, comme il arrive au larynx de l'homme soufflé par la trachée-artère. Ainsi, chez les Oiseaux, il n'y a que les bronches qui puissent être considérées comme soufflerie ou embouchure. La trachée-artère tout entière, depuis le larynx inférieur, fait partie du corps de tuyau, ainsi que le larynx supérieur et les cavités tant orale que nasale.

Les limites de la glotte, les cordes vocales de l'homme, méritent de fixer d'abord notre attention. Ces ligamens sont doués d'élasticité. Le mouvement du cartilage thyroïde vers le cartilage cricoïde par le moyen des muscles crico-thyroïdiens, et celui des cartilages aryténoïdes au moyen des muscles crico-aryténoïdiens postérieurs, qui les tirent en arrière, en même temps que les muscles aryténoïdiens les rapprochent l'un de l'autre, rendent les cordes vocales susceptibles d'une tension diverse, soit que les derniers fixent les cartilages aryténoïdiens et que les autres les tendent, soit que ceux-ci fixent et que ceux-là tendent. La glotte devient ou plus longue ou plus courte, suivant le degré de cette tension. Le rapprochement des cartilages aryténoïdes par les muscles aryténoïdiens la rétrécit, leur écartement par les muscle crico-aryténoïdiens postérieurs l'élargit. L'élasticité des cordes vocales les rend aptes à des vibrations régulières, et analogues, sous ce point de vue, à des membranes tendues par deux bouts. Elle dépend du tissu élastique particulier qui entre dans leur composition, et qu'on retrouve aussi dans beaucoup d'autres parties du corps animal. Ce tissu diffère de tous les autres, non seulement par sa couleur jaune, mais encore, et surtout, par la disposition de ses

fibres, les seules connues jusqu'à présent qui se divisent et s'anastomosent, comme nous l'ont appris les observations de Lauth et de Schwann. Sa structure est la même quant aux points essentiels, partout où il se rencontre; dans le ligament cervical des Mammifères, les ligamens jaunes des arcs vertébraux, les fibres longitudinales jaunes de la trachée-artère de l'homme et des Mammifères, le ligament stylo-hyoïdien, le ligament élastique de la peau de l'aile des Oiseaux, le sac guttural du Pélican, les ligamens élastiques de la phalange onguéale des Chats, le corps élastique qui courbe la verge de l'Autruche, le ligament élastique qui fait rentrer la verge rétractile des Canards et des Oies, de l'Autruche d'Amérique et des Castors. Enfin c'est dans les artères, dont il constitue la tunique moyenne, qu'il est le plus amplement et le plus généralement répandu chez tous les animaux vertébrés. Ses propriétés chimiques demeurent les mêmes partout. Eulenberg (1) a reconnu qu'il ne donne un peu de colle qu'avec beaucoup de difficulté, et seulement après une coction continuée pendant plusieurs jours. Cette colle diffère de la colle ordinaire, et se rapproche de celle que j'ai obtenue des cartilages et de la cornée, qui est précipitable par l'alun, l'acide acétique, l'acétate de plomb et le sulfate de fer. Il se rapproche des tissus inférieurs, en donnant de la colle (tissu cellulaire, tissu séreux, peau, tissu tendineux, cartilage), en ce que sa dissolution acide n'est point précipitée par le cyanure de fer et de potassium, tandis que la matière des tissus à base albumineuse est précipitée de sa dissolution acide par ce sel, comme l'a découvert Berzelius. L'élasticité du tissu élastique est si considérable et si durable, ainsi que je m'en suis assuré, que des journées entières d'ébullition et des années d'immersion dans l'alcool ne la lui enlèvent point.

Cependant les cordes vocales du larynx ne sont pas les

(1) *V.* Eulenberg, *De tela elastica*, Berlin, 1836.

seules parties du larynx où l'on trouve du tissu élastique. Depuis long-temps déjà on sait que les ligamens hyo-thyroïdien et crico-thyroïdien moyen en sont formés. Le dernier de ces ligamens doit, même sans le concours du muscle crico-thyroïdien, tenir rapprochés l'un de l'autre les bords correspondans du cartilage thyroïde et du cartilage cricoïde : de là vient que le mouvement en arrière des cartilages aryténoïdes par l'action des muscles, dans le cas de tension des cordes vocales, a aussi à combattre en quelque sorte l'action de ce ligament, et que quand les cartilages aryténoïdes se trouvent fixés, les ligamens de la glotte doivent déjà éprouver quelque tension par le fait du rapprochement qu'il établit entre les parties antérieures des cartilages thyroïde et cricoïde. Cependant Lauth a découvert que le tissu élastique est bien plus répandu encore dans l'intérieur du larynx. La plus grande portion de ce tissu naît de la moitié inférieure de l'angle du cartilage thyroïde, entre les insertions des muscles thyro-aryténoïdiens ; de là les fibres rayonnent de haut en bas, obliquement d'avant en arrière, et même un peu de bas en haut, formant ainsi une membrane cohérente, qui se fixe à tout le bord supérieur du cartilage cricoïde, le point excepté où s'articulent les cartilages aryténoïdes. En ce dernier endroit, les fibres élastiques s'insèrent à l'angle antérieur de la base des cartilages aryténoïdes et à leur bord antérieur. La membrane radiante a trois faisceaux de renforcement, qui sont le ligament crico-thyroïdien moyen et les ligamens thyro-aryténoïdiens inférieurs. Elle forme aussi les cordes vocales supérieures. Les ligamens supérieurs et inférieurs de la glotte sont unis ensemble par une couche extrêmement mince de tissu élastique, qui revêt le ventricule de Morgagni. Le ligament hyo-thyroïdien latéral est élastique aussi, et le même tissu existe également dans les ligamens thyro-épiglottique, hyo-épiglottique et glosso-épiglottique. Si l'on ajoute à cela les fibres longitudinales élastiques qui se trouvent à la partie

membraneuse de la trachée-artère et aux bronches, on aura une idée de la grande étendue des parois susceptibles de vibrations et de résonnance qui environnent l'organe de la voix.

Notre attention doit se porter ensuite sur les formes possibles de la glotte, et sur celles qu'elle prend réellement lorsqu'elle rend des sons. Dans l'état de repos, et quand elle ne parle pas, la glotte a une forme lancéolée. On sait qu'elle s'élargit pendant l'inspiration, et qu'elle se rétrécit pendant l'expiration. Ses côtés sont formés, en arrière, par la face interne et l'apophyse antérieure de la base des cartilages aryténoïdes, en avant, et dans sa plus grande partie, par les cordes vocales, qui se fixent à cette apophyse. Dans une glotte longue de onze lignes, et ouverte d'un bout à l'autre, la partie postérieure en a quatre de long, et l'antérieure sept. Lorsque la glotte est aussi élargie que possible, elle représente un losange, dont l'angle postérieur est tronqué. Les angles latéraux correspondent aux apophyses précitées des cartilages aryténoïdes, dont la distance de l'un à l'autre peut être portée jusqu'à cinq lignes et trois quarts. Dans l'état d'étroitesse, la glotte peut avoir trois formes. Ou il y a seulement rapprochement des apophyses antérieures des bases des cartilages aryténoïdes par l'effet des muscles crico-aryténoïdiens latéraux, et quand ces apophyses se touchent, la glotte est double. Ou bien la glotte rétrécie est ouverte dans toute sa longueur. Ou enfin sa partie postérieure se ferme tout-à-fait parce que les cartilages aryténoïdes se rapprochent jusqu'à leurs apophyses antérieures, auxquelles sont attachées les cordes vocales; ce dernier effet est le résultat de l'action réunie des muscles aryténoïdiens et crico-aryténoïdiens latéraux; la glotte se trouve alors réduite à l'espace compris entre ses bords élastiques et tranchans; sa forme est allongée en pointe, tant en avant qu'en arrière; sa longueur et sa largeur varient aussi beaucoup, suivant que les cordes vocales sont simultanément tendues ou ne le sont pas. La détente et le raccourcissement des liga-

mens inférieurs de la glotte ont lieu par le moyen des muscles thyro-aryténoïdiens, qui rétrécissent aussi l'espace situé au dessus et au dessons des cordes vocales.

On ne sait pas encore bien quelle est la forme de la glotte chez l'homme vivant qui prodnit des sons. On sait seulement qu'elle est alors rétrécie. Comme il n'y a que sa partie antérieure, entourée de bords élastiques et tranchans, qui soit susceptible d'entrer primitivement en vibration, et que par conséquent on n'a point à s'occuper de sa partie postérieure, en ce qui concerne la voix, l'ouverture de cette partie ne pourrait qu'être une occasion de trouble, en agrandissant considérablement l'étendue de la glotte en surface. Mayo a observé la glotte chez un homme qui, dans une tentative de suicide, s'était coupé la gorge immédiatement au dessus des cordes vocales; la plaie, dirigée obliquement, intéressait l'une des cordes et l'un des cartilages aryténoïdes; quand le sujet respirait tranquillement, la glotte était triangulaire : dès qu'il cherchait à former un son, les ligamens devenaient presque parallèles, et la glotte linéaire. Si l'on en juge d'après la figure, il paraît que la partie postérieure de cette fente n'était point fermée. Un autre individu s'était coupé le cou au dessus du cartilage thyroïde, de manière qu'on pouvait apercevoir la partie supérieure des cartilages aryténoïdes : quand il produisait un son, ces cartilages se trouvaient placés absolument comme si la glotte eût été fermée en totalité. Kempelen dit qu'il suffit que la glotte soit ouverte d'un douzième, ou tout au plus d'un dixième, pour que la voix puisse encore sortir (1), et Rudolphi (2) confirme cette assertion d'après le fait d'un homme chez lequel la perte du nez rendait la cavité pharyngienne tellement accessible à la vue, qu'on pouvait très-bien voir la glotte s'ouvrir et se fermer.

(1) *Mechanismus der menschlichen Sprache*, p. 81.

(2) *Physiologie*, Berlin, 1828, t. II, Pl. I, p. 370.

Magendie ne comprend pas dans la glotte l'espace intercepté entre les cartilages aryténoïdiens, qui, d'après les observations faites par lui sur des animaux, sont appliqués immédiatement l'un contre l'autre pendant la sortie des sons. Ce physiologiste dit aussi que la partie postérieure de la glotte est fermée quand des sons se produisent. Il est possible que ce soit là, en effet, la règle ; car, sur le larynx humain séparé du corps, les sons ont de la peine à sortir quand la partie postérieure de la glotte n'est point fermée. Cependant j'ai reconnu que cette occlusion n'est pas d'une nécessité absolue, et bien que je tinsse la glotte ouverte dans toute sa longueur, je n'en ai pas moins quelquefois obtenu des sons en ayant soin de tendre un peu les ligamens et de rétrécir l'ouverture.

B. *Faits relatifs aux changemens des sons de l'organe vocal et à leurs causes.*

Les expériences sur les animaux vivans n'ont jusqu'à présent pas beaucoup contribué à éclaircir la théorie de la voix humaine, quoique les recherches de Magendie et de Malgaigne en ce sens aient leur mérite. Magendie découvrit la glotte d'un Chien par une section faite entre le cartilage thyroïde et l'hyoïde, et il observa que les cordes vocales vibraient dans toute leur longueur pendant les sons graves, tandis que la portion de la glotte comprise entre les cartilages aryténoïdes était fermée. Suivant lui, dans les sons très-élevés, les vibrations ne sont sensibles qu'à la partie la plus postérieure des cordes vocales, et l'air ne sort non plus que par la partie la plus postérieure de la glotte. Il est difficile d'entrevoir par quoi l'occlusion de la glotte à sa partie antérieure pourrait être opérée. Il n'est pas possible non plus de produire un pareil mode d'écoulement de l'air sur le larynx humain, tandis qu'on parvient aisément, sans changer la tension, à raccourcir un peu la partie postérieure de la glotte, en rapprochant davantage l'une de l'autre les apophyses antérieures des bases des

cartilages aryténoïdes, auxquelles s'attachent les cordes vocales. C'est d'expériences faites avec soin sur le larynx humain lui-même qu'on doit attendre le plus de résultats. Quand on commence à s'y livrer, on éprouve des difficultés extrêmes; tout étant mobile, comment donner aux parties le degré nécessaire de tension soutenue, aux cartilages une position déterminée et égale, condition nécessaire à la précision des expériences; et comment changer facilement cette position pour remplir des vues déterminées? On réussit pourtant avec un peu d'art. D'abord il s'agit d'obtenir un point fixe dans le larynx. La plus grande partie de la paroi antérieure et la partie supérieure de la postérieure sont mobiles. Le cartilage thyroïde peut se mouvoir sur le cricoïde, et les cartilages aryténoïdes sont également mobiles sur ce dernier; les uns et les autres changent la tension des cordes vocales. Comme les cartilages aryténoïdes sont les parties les plus mobiles, celles dont les différences de situation peuvent le plus facilement induire en erreur dans les expériences, je me suis d'abord attaché à leur procurer une situation fixe. On prend un larynx auquel tienne encore un lambeau de trachée-artère, et on le pose, par sa paroi postérieure, sur une planchette à laquelle on attache solidement le cartilage cricoïde, et à laquelle on fixe aussi les cartilages aryténoïdes. Le meilleur moyen d'y réussir est le suivant. J'enfonce obliquement, à travers la partie inférieure des cartilages aryténoïdes, une épingle, sur laquelle ils sont fixés immédiatement l'un à côté de l'autre. La perforation doit être faite avec beaucoup de précaution, afin qu'en tirant ensuite sur le cartilage thyroïde, les cordes vocales éprouvent une égale tension. Il faut aussi qu'elle ait lieu de telle sorte que, quand les cartilages sont appliqués l'un contre l'autre, les apophyses antérieures de leurs bases se touchent. On peut sur cette épingle donner aux cartilages toutes les situations qu'on juge convenables l'un par rapport à l'autre. On peut les écarter un peu, de sorte

que la partie postérieure non résonnante de la glotte soit ouverte; on peut aussi les mettre en contact parfait et les fixer inamoviblement par des liens dans cette situation, où la partie postérieure de la glotte se trouve fermée. Lorsque le larynx ainsi préparé est fixé sur la planchette par sa paroi postérieure, il faut également fixer sur le bois la partie de cette paroi qui est formée par les cartilages aryténoïdes; la chose est facile au moyen des liens qui maintiennent l'épingle immobile. La paroi postérieure du larynx se trouvant fixée de cette manière, on peut donner aux cordes vocales tous les degrés imaginables et rigoureusement mesurables de tension, en tirant sur la paroi antérieure formée par le cartilage thyroïde. Il est utile, pour détruire une résistance de la part de l'attache du cartilage thyroïde au cartilage cricoïde, de couper avec circonspection cette attache tout entière. Alors, au moyen d'un cordon attaché à l'angle du cartilage thyroïde, immédiatement au dessus de l'insertion des cordes vocales, on peut attirer ce cartilage à soi, et agrandir la distance entre la paroi antérienre mobile et la paroi postérieure fixée du larynx, autant que le permettent les cordes vocales tendues entre ces parois; plus on tire à soi, plus les cordes se tendent. Je fais passer le cordon sur une poulie, et je l'attache à une balance; en mettant des poids dans celle-ci, je peux changer la tension des cordes vocales d'une manière rigoureusement évaluable. Comme l'épiglotte, les ligamens supérieurs de la glotte, les ventricules de Morgagni, les cartilages de Santorini, les ligamens ary-épiglottiques, et même la partie supérieure du cartilage thyroïde, jusqu'à l'insertion des cordes vocales, ne sont point essentiels à la production de la voix, j'excise toutes ces parties jusque immédiatement au dessus des ligamens inférieurs, afin de pouvoir mieux apercevoir ces derniers quand ils vibrent, et la glotte. Du reste, il est nécessaire de commencer par apprendre à connaître ce que les ligamens inférieurs de la glotte peuvent produire à eux seuls.

Plus tard l'influence des ventricules situés au dessus d'eux sera examinée. On engage un tuyau en bois dans la trachée-artère pour souffler. J'ai répété souvent les expériences au moyen de cet appareil. Voici les faits que j'ai observés.

I. *Les ligamens inférieurs donnent, la glotte étant étroite, des sons pleins et purs lorsqu'on souffle par la trachée-artère.*

Ces sons se rapprochent beaucoup de ceux de la voix humaine, et ils ont une grande analogie avec ceux que l'on produit en soufflant sur des rubans humides de tunique élastique d'artère tendus à l'extrémité d'un tuyau. C'est de cette dernière manière que l'on construit le meilleur larynx artificiel. Les rubans de tunique élastique d'artère sont formés du même tissu que les cordes vocales elles-mêmes, et ils ont les mêmes propriétés physiques. On peut y substituer d'autres rubans secs en caoutchouc; les sons ne sont pas fort différens. Les rubans sont tendus par les deux bouts, mais bouchent d'ailleurs le bout du tuyau, et ne laissent qu'une petite fente entre eux. Les rubans élastiques humides ont sur ceux en caoutchouc l'avantage de donner des sons purs, comme l'organe vocal de l'homme, même lorsqu'ils sont très-petits, de sorte que la différence observée par Cagniard-Latour entre les rubans en caoutchouc et les cordes vocales, n'existe pas réellement.

II. *Ces sons diffèrent de ceux qu'on obtient quand on a laissé subsister les ventricules de Morgagni, les ligamens supérieurs et l'épiglotte, en ce qu'ils sont moins forts.*

En effet, ces parties, aussi bien que la paroi postérieure de la trachée-artère, résonnent simultanément avec force.

III. *Les cordes vocales parlent surtout avec facilite quand la partie postérieure de la glotte, entre les cartilages aryténoïdes, est fermée.*

Cependant ce n'est point là une condition d'absolue nécessité. Souvent, mais non pas toujours, la voix se fait entendre alors même que la glotte est ouverte tout entière, pourvu

que l'ouverture soit assez étroite. Sous ce rapport je dois me mettre en contradiction, jusqu'à un certain point, avec Magendie et Malgaigne. Mais ces sons sont difficiles à produire et plus faibles.

IV. *Quand les cordes vocales ont une tension soutenue, le son reste le même, eu égard à l'élévation, que la partie postérieure de la glotte soit ouverte, ou qu'elle ne le soit pas.*

Il est nécessaire néanmoins que l'occlusion de la partie postérieure de la glotte par l'adossement des cartilages aryténoïdes ne s'étende point au-delà du point d'insertion des cordes vocales. On voit déjà clairement, d'après cela, que ce sont les cordes vocales dont les vibrations déterminent le son, et que ce n'est pas l'air qui vibre le premier en traversant la glotte : car autrement le son rendu par une glotte ouverte dans toute sa longueur devrait être beaucoup plus grave que celui d'une glotte de la longueur des cordes vocales.

V. *Si la partie postérieure de la glotte, entre les cartilages aryténoïdes, ne se ferme pas complétement, si les apophyses antérieures des bases de ces cartilages, quoique se touchant, laissent une petite ouverture derrière elles, il ne se produit pas de second son par cette ouverture.*

Quelquefois seulement l'air frémit en traversant l'ouverture qui reste entre les cartilages et la paroi postérieure par laquelle ils sont unis.

VI. *A tension égale des cordes vocales, le plus ou moins d'étroitesse de la glotte n'exerce pas d'influence notable sur l'élévation du son.*

Le son sort seulement avec peine quand la glotte est plus large, et il a moins d'éclat, parce qu'on perçoit en même temps le bruit causé par le passage de l'air. Il en est absolument de même avec le larynx artificiel à rebords en caoutchouc. Nous voyons ici, pour la seconde fois, que ce ne peut point être l'air qui vibre le premier, comme le pensaient Dodart et Liscovius, dans l'hypothèse desquels les ligamens ne

faisaient qu'entrer simultanément en vibration ; car alors la gravité du son devrait croître avec la largeur de la glotte. Les cordes vocales se comportent donc, sons ce rapport, comme les languettes membraneuses et métalliques, dans lesquelles une ouverture plus large rend le son plus difficile à sortir, mais ne change rien à son élévation. Ferrein avait déjà remarqué qu'une plus grande largeur de la glotte n'entraîne pas des sons plus graves.

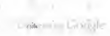
VII. *Quand les cordes vocales sont tendues inégalement, elles ne donnent, en général, qu'un seul son; ce n'est que dans des cas rares, qu'elles en font entendre deux.*

En cela elles se comportent encore comme les rubans de caoutchouc dans le larynx artificiel. J'ai fait voir précédemment que, quand les rubans de caoutchouc sont inégalement tendus, le son peut provenir d'un seul d'entre eux, en même temps que l'autre résonne souvent d'une manière faible, et qu'il n'y a pas toujours compensation des accords différens des deux cordons. On a souvent occasion de remarquer aussi, au larynx, les vibrations d'une seule des deux cordes vocales, surtout quand celles-ci ne se trouvent pas tout-à-fait dans le même plan. Mais le fait que, dans le cas d'inégale tension des cordes vocales, il n'y en a le plus souvent qu'une seule qui parle, et qu'il arrive rarement d'entendre deux sons, prouve encore que les vibrations sonores partent primitivement des cordes et non de l'air.

VIII. *La tension des cordes vocales demeurant la même, il arrive quelquefois qu'au lieu de leur son fondamental on en perçoit un beaucoup plus élevé, surtout lorsqu'en vibrant elles frottent sur une partie de leur longueur.*

Ce phénomène s'explique par la formation de nœuds de vibration ; un effet semblable arrive quelquefois avec les cordons en caoutchouc.

IX. *On peut produire des sons tant lorsque les cordes vocales*



laissent une étroite ouverture entre elles, que quand elles se se touchent tout-à-fait.

Dans ce dernier cas, les sons se produisent surtout avec facilité lorsque les cordes vocales sont très-lâches : alors leurs vibrations sont très-fortes, parce que l'air, passant avec plus de difficulté, il les chasse et les écarte l'une de l'autre avec plus de force. La même chose exactement arrive avec les languettes membraneuses en caoutchouc ; car souvent ici le son se produit lorsque les cordons sont rapprochés jusqu'au point de se toucher, et même mieux encore quand le bord de l'un repose sur l'autre, ou quand on n'emploie qu'un seul ruban, et qu'on en tend le bord sur celui d'une planchette mince en bois. L'effet est le même que dans les languettes qui ne battent pas ; l'ouverture se trouve fermée de moment en moment, et le courant d'air interrompu par saccades.

X. *Les sons qui se produisent quand les cordes vocales ; peu tendues, se touchent, diffèrent, pour l'éclat, de ceux qui ont lieu lorsque la glotte présente une fente étroite.*

Le son est plus fort et plus plein dans le premier cas, plus faible et plus sourd dans le second.

XI. *Quand les cordes vocales ont une longueur déterminée et une tension faible qui demeure la même, l'élévation du son ne varie pas, soit qu'elles se touchent, soit qu'elles laissent une étroite ouverture entre elles.*

XII. *On peut très-bien encore produire des sons, quoique les cordes vocales soient tout-à-fait relâchées, pourvu que la glotte se trouve en même temps très-raccourcie.*

Pour opérer ce raccourcissement, on comprime la partie postérieure de la glotte entre les deux branches d'une pince. La fente étant réduite à deux lignes, on n'en obtient pas moins encore des sons si les cordes vocales sont détendues, et qu'elles se touchent par leurs bords. Cette propriété des cordes vocales ne s'observe pas dans les lames élastiques sèches, telles que les bandelettes de caoutchouc, mais bien dans les

rubans en tissu élastique, par exemple en tunique artérielle. Au reste, le tissu élastique ne perd pas, même lorsqu'il n'est point tendu, sa propriété de réagir contre le conrant d'air; car celui-ci, quand le passage est très-court, et que les cordes vocales se trouvent appliquées l'une contre l'autre, les distend à tel point qu'elles recouvrent la faculté de réagir en vertu de leur élasticité; de sorte que la glotte est alternativement ouverte et fermée par les vibrations à très-grandes excursions. Cependant il n'est pas même nécessaire que l'élasticité des cordes vocales distendues par le courant d'air, devienne assez considérable pour fermer la glotte quand elle réagit; les cordes peuvent encore vibrer sans que la glotte se ferme périodiquement, de même qu'une languette de caoutchouc faiblement tendue vibre sans revenir à la ligne droite dans ses vibrations rétrogrades.

XIII. *On peut tout aussi bien produire des sons graves avec une glotte courte, même très-courte, qu'avec une glotte longue, et des sons aigus avec une glotte longue qu'avec une autre courte, pourvu, quand il s'agit des sons aigus, que les cordes vocales de la glotte longue soient plus fortement tendues, et lorsqu'il est question des sons graves, que celles de la glotte très-courte soient entièrement détendues, les lèvres de l'ouverture se touchant.*

On peut, sans rien changer à la tension, raccourcir à volonté la glotte en comprimant ses lèvres avec des pinces dans l'espace situé au devant des apophyses antérieures des cartilages aryténoïdes. On peut aussi détendre à volonté les cordes vocales en pressant le cartilage thyroïde d'avant en arrière. A l'aide de ces procédés, on obtient les résultats qui viennent d'être énoncés.

XIV. *Lorsque les cordes vocales vibrent en plein, depuis l'angle du cartilage thyroïde jusqu'aux apophyses antérieures, immédiatement appliquées l'une contre l'autre, des cartilages aryténoïdes, et qu'elles le font sans se toucher, avec un accrois-*

sement graduel de tension, le changement d'élévation des sons n'est pas tout-à-fait le même que dans les cordes et les membranes tendues à leurs deux extrémités.

Lorsqu'on accroît la tension des cordes vocales, les sons restent la plupart du temps de quelques semi-tons ou tons entiers au dessous de la hauteur que la théorie indique en pareil cas. Jamais ils ne deviennent plus aigus que celle-ci ne le comporte, à moins que les cordes ne soient inégalement tendues, et qu'en vibrant elles ne se touchent sur une partie de leur longueur, d'où résultent des nœuds de vibrations qui peuvent, au moment où l'on s'y attend le moins, donner lieu à des sons très-élevés, par analogie avec ceux qu'on appelle sons flûtés. On sait que, dans les cordes, les sons, ou nombres de vibrations, croissent en raison directe des longueurs de ces cordes, et inverse des racines carrées des poids qui les tendent. Si, par exemple, une corde tendue par un poids de quatre loth (1), donne *ut*, elle donnera avec un poids de seize loth l'octave de cet *ut*, et avec un poids de soixante-quatre loth, sa double octave. En ayant recours à l'appareil que j'ai décrit plus haut, on peut faire des essais comparatifs sur les cordes vocales. Il est vrai qu'en quarrant les poids mis dans le plateau de balance on n'obtient point généralement des octaves, mais la plupart du temps des sons qui sont d'un semi-ton, d'un ton entier, d'un ton et demi, de deux tons ou de trois tons au dessous des octaves; cependant l'analogie est toujours assez frappante, et l'on peut du moins faire voir, au moyen de ces sortes d'expériences, que les sons produits par une tension qui croît suivant la proportion, 4, 16, 64, se rapprochent jusqu'à un certain point de la série des nombres 1, 2, 4. Or cette circonstance suffit pour prouver que les sons de l'organe vocal de l'homme, en tant qu'ils naissent à la glotte et à ses limites immédiates, sont analogues à ceux des cordes et des languettes membraneuses. Les ex-

(1) Le *loth* vaut une demi-once.

périences ne réussissent qu'autant que les cordes vocales sont tendues avec le plus d'égalité possible, et qu'on évite qu'elles se touchent dans des parties aliquotes de leur longueur; car, ainsi que je l'ai dit, ce contact, au lieu des sons sur lesquels on compte, en fait souvent naître qui sont beaucoup plus élevés et criards. Il est certains larynx dont on ne peut se servir, à cause de l'impossibilité d'éviter cette transition brusque à un autre registre lorsque la tension devient plus considérable; les meilleurs, en général, sont ceux d'individus du sexe masculin, qui ont des cordes vocales plus longues. Il faut répéter souvent les expériences pour en rencontrer un qui permette d'éviter les sons criards. Je vais citer plusieurs exemples de larynx sur lesquels elles ont parfaitement réussi. C'est un inconvénient qu'on ne puisse parvenir à tendre les cordes vocales dans une direction bien droite, au moyen de poids, sans que d'autres parties opposent une certaine résistance. Lorsqu'on les tend en tirant sur le cartilage thyroïde, le tissu élastique compris entre ce cartilage et le cricoïde, oppose un obstacle d'un côté, et détourne la tension de la direction droite; on peut bien le couper, mais l'articulation entre les deux cartilages gêne encore, et alors même qu'on enlève cette articulation, les sons qu'on obtient, en accroissant la tension, sont presque toujours, quand on veut éviter le fausset, au dessous de ceux qu'on cherche à faire sortir. Dans les expériences que je cite pour exemples, la tension eut lieu en des sens un peu différens, tantôt suivant la direction même de la longueur des cordes vocales, tantôt dans une direction qui s'écartait un peu en avant ou en arrière de celle-là, afin d'apprendre à connaître l'étendue des anomalies qui ont lieu dans des expériences de ce genre. On conçoit que le son fondamental des cordes vocales doit varier un peu suivant la direction différente dans laquelle agit le cordon tendu par des poids. Un autre inconvénient tient à l'impossibilité où l'on est d'obtenir toujours un souffle d'égale force. Or les sons devien-

nent plus aigus quand le souffle est plus fort. Ce qu'il y a de mieux, c'est de prendre pour point de comparaison les sons que fait sortir le souffle le plus faible, ou les sons fondamentaux des cordes vocales.

1re *Expérience.* Son fondamental des cordes vocales, avec tension produite par un poids de 4 loth, *ut*$_3$.

	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*ut*$_3$	*la*$_3$	*sol*♯$_4$
2e *Expérience.*	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*ut*♯$_3$	*si*$_3$	*la*♯$_4$–*la*$_4$
3e *Expérience.*	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*sol*♯$_3$	*ut*♯$_4$	*ut*$_5$
4e *Expérience.*	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*la*$_3$	*ré*$_4$	*ut*$_5$
5e *Expérience.*	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*la*♯$_3$	*fa*♯$_3$	*sol*$_4$
6e *Expérience.*	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*la*♯$_3$	*sol*♯$_3$	*sol*^{4}
7e *Expérience.*	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*ré*$_3$	*ut*$_4$	*la*$_4$
8e *Expérience.*	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*ré*♯$_3$	*si*$_3$	*la*$_4$
9e *Expérience.*	Tension	4 loth	16 loth	64 loth.
	Sons	*sol*$_2$	*sol*$_3$	*sol*$_4$

Les deux dernières octaves sont sans netteté.

Les sons ont été chaque fois déterminés par une autre personne sur un piano bien accordé.

XV. ***Les cordes vocales isolées du larynx et tendues ne se comportent qu'approximativement comme les cordes, avec lesquelles s'accordent les languettes membraneuses vibrant sans cadre par l'effet d'un courant d'air.***

Quand on suit la méthode que j'ai indiquée plus haut pour faire produire des vibrations et des sons à des rubans de caoutchouc tendus librement sans châssis, au moyen d'un courant

d'air sortant d'un tube délié, il n'est pas difficile non plus d'en obtenir avec une corde vocale tout-à-fait isolée et tendue, en soufflant dessus. J'enlève une corde vocale, de manière à y laisser uni eu devant un lambeau de l'angle du cartilage thyroïde, et en arrière un lambeau du cartilage aryténoïde. L'une des extrémités est alors fixée sur une planche ; à l'autre j'attache un fil, qui passe sur une poulie, et qu'on peut faire descendre, à l'aide de poids, dans un plateau de balance. Si alors je souffle vers le bord de la corde vocale, avec un tube délié, j'en obtiens le son fondamental, faible et sans éclat. Dans ce cas aussi, les sons restent au dessous des nombres exigés par la théorie. Une corde vocale tendue avec un poids de 16 loth donna *la♯* ; en reduisant le poids à 4 loth, le son tomba à *ré* ; en replaçant le poids de 16 loth, la corde redonna *la♯*.

XVI. ***En changeant la tension, sans modifier la direction, les sons du larynx peuvent changer dans l'étendue d'à peu près deux octaves; mais si la tension devient plus considérable, il se produit des sons désagréables, plus élevés, sifflans ou criards.***

Quand il ne s'agit pas, comme dans les cas précédens, de tendre les cordes vocales par des poids qui tirent suivant la direction des cordes elles-mêmes, le moyen le plus facile d'opérer la tension consiste à employer celui dont la nature se sert pour la faire varier, c'est-à-dire à abaisser le cartilage thyroïde vers le cartilage cricoïde, les cartilages aryténoïdes étant fixés. Le cartilage thyroïde agit alors comme un levier, dont le point d'appui est son articulation latérale avec le cartilage thyroïde. Les expériences suivantes ont été faites de cette manière. On commence par fixer les cartilages aryténoïdes sur une épingle, et à les lier ensemble, de sorte qu'il ne reste plus que la fente comprise entre les cordes vocales. Puis on les attache à une étroite planchette, sur laquelle la trachée-artère est fixée. La planchette est dressée perpendiculairement sur un pied. A l'angle antérieur du cartilage thyroïde, immédiatement au dessus de l'insertion des cordes

vocales, se trouve attaché le fil, avec un petit plateau de balance pendant verticalement. Si l'on ajoute des poids, le cartilage thyroïde s'abaisse vers le cricoïde, et l'espace rempli par le ligament crico-thyroïdien moyen devient plus étroit; les cordes vocales sont tendues dans la même proportion. On imite en cela l'effet des muscles crico-thyroïdiens. Chez l'homme vivant aussi, l'espace complis entre les cartilages thyroïde et cricoïde devient de plus en plus étroit, pendant le chant, depuis le son le plus grave jusqu'au plus aigu; chacnn peut s'en convaincre sur soi-même, en appuyant le bout du doigt sur cet intervalle. Dans les expériences dont je vais parler, un poids d'un demi-loth environ suffisait, quand le son était grave, pour l'élever d'nn semi-ton; lorsque la tension était plus considérable, il fallait un poids plus fort, et finalement même jusqu'à trois loth, pour produire nn changement d'un semi-ton. On conçoit que le poids agit différemment à mesure que la situation du cartilage thyroïde change; d'ailleurs, lorsque les cordes vocales restent long-temps tendues, leur élasticité subit anssi de petits changemens. Je n'ai pris pour terme de comparaison que les sons appréciables produits par le plns faible souffle possible; en soufflant avec plus de force, le son s'élève. Il snit de là que la détermination dn son fondamental des cordes vocales à un degré donné de tension ne saurait jamais être parfaitement rigoureuse. Cependant je crois être en droit d'admettre pour certain que les erreurs qui résnltent de là ne peuvent pas s'élever jusqu'à un semi-ton, puisqu'on n'admettait jamais que les sons les plus graves. Somme totale, ces erreurs se compensent. Le défaut de pureté des sons rendus par les ligamens tendus avec des poids, était un peu sensible aussi à l'oreille d'un chanteur, qui les déterminait tous sur le piano. Les deux expériences furent faites l'une après l'autre sur le même larynx. L'élévation extraordinaire qui fut produite par la tension était d'autant plus remarquable, que le larynx appartenait à un sujet du sexe masculin.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.		SECONDE EXPÉRIENCE.	
POIDS.	SONS.	POIDS.	SONS.
1/2 loth.	*la*♯$_2$	1/2 loth.	*si*$_2$
1	*si*$_2$	1	*ut*$_3$
1 1/2	*ut*$_3$	1 1/2	*ut*♯$_3$
2	*ut*♯$_3$	2	*ré*$_3$
2 1/2	*ré*$_3$	2 1/2	*ré*♯$_3$
2 8/10	*ré*♯$_3$	3	*mi*$_3$
3	*mi*$_3$	3 1/2	*fa*$_3$
3 1/2	*fa*$_3$	4	*fa*♯$_3$
4	*fa*♯$_3$	4 1/2	*sol*$_3$ +
4 1/2	*sol*$_3$	5	*sol*♯$_3$
5	*sol*♯$_3$	5 1/2	*la*$_3$
5 1/2	*la*$_3$	6	*la*♯$_3$
6	*la*♯$_3$	6 1/2	*si*$_3$
6 1/2	*si*$_3$	7 1/2	*ut*$_4$
7	*si*$_3$—*ut*$_4$	8 3/10	*ut*♯$_4$
7 1/2	*ut*$_4$	9	*ré*$_4$
8	*ut*♯$_4$	10	*ré*♯$_4$
8 1/2	*ré*$_4$	11	*mi*$_4$
9 7/10	*ré*♯$_4$	12	*fa*$_4$
10 7/10	*mi*$_4$	13	*fa*♯$_4$
11 7/10	*fa*$_4$	15	*sol*$_4$
13	*fa*♯$_4$	17 1/2	*sol*♯$_4$
15	*sol*$_4$	18 1/2	*la*$_4$
17	*sol*♯$_4$	20	*la*♯$_4$
19	*la*$_4$	22	*si*$_4$
22	*la*♯$_4$	26	*ut*$_5$
25	*si*$_4$	29	*ut*♯$_5$
28	*ut*$_5$	32	*ré*$_5$
31	*ut*♯$_5$	37	*ré*♯$_5$
35	*ré*$_5$		Plus de son.
37	*ré*♯$_5$		
	Plus de son.		

Après la première expérience, les cordes vocales n'avaient subi qu'un changement tel qu'au lieu de *la*♯ elles donnaient *si* avec un poids d'un demi-loth.

Il suit de ces expériences qu'une force musculaire d'environ une livre peut produire les sons dans l'étendue de deux octaves.

XVII. *Lorsque la partie postérieure de la glotte est fermée, et que les cartilages aryténoïdes sont fixés, de manière que les cordes vocales soient très-faiblement tendues par la seule élasticité du ligament crico-thyroïdien moyen, on peut produire des sons plus graves encore en détruisant la tension opérée par ce ligament, et relâchant tout-à-fait les cordes.*

Dans ce cas, on détermine une détente plus considérable encore au moyen d'un fil chargé de poids, qui part de l'angle du cartilage thyroïde, en arrière, passe sur une poulie, et rapproche par conséquent ce cartilage des aryténoïdes, qui sont fixés. Ce mécanisme explique l'effet du muscle thyro-aryténoïdien. Le larynx est disposé verticalement, et on souffle par en bas, au moyen d'un tuyau recourbé. Pour ces sortes d'expériences il faut toujours être plusieurs; l'un souffle, un autre met les poids dans le plateau de la balance, et un troisième détermine les sons sur le piano. Dans l'exemple que je cite, le son d'où l'on partait était *ré*♯$_3$, avec une détente produite par un contrepoids de 3/10 de loth. En augmentant les poids de détente, les sons baissèrent de la manière suivante :

Sons. — *la*♯$_3$ *la*$_3$ *ut*♯$_3$ *ut*$_3$ *si*$_2$ *la*♯$_2$ *la*$_2$ *mi*$_2$ et *sol*♯$_2$ l'un après l'autre.
Loth. — $^3/_{10}$ $^1/_2$ 1 $1^3/_{10}$ $1^4/_{10}$ $1^1/_2$ $1^8/_{10}$ $2^3/_{10}$,

Sons. — *mi*$_2$ *ré*♯$_2$ *ré*$_2$ *ut*♯$_2$ *si*$_1$
Loth. — $2^4/_{10}$ $2^6/_{10}$ $2^8/_{10}$ $3^0/_{10}$ $3^3/_{10}$.

De cette manière, en détendant de plus en plus les cordes vocales par une action imitant celle du muscle thyro-aryté-

noïdien, on atteignait les tons les plus bas de la voix de poitrine.

XVIII. *On peut, sur le larynx détaché du corps, produire deux registres tout-à-fait différens de sons, au moyen d'une très-faible tension des cordes vocales ; savoir, des sons en général plus graves, qui ont la plus parfaite analogie avec ceux de la voix de poitrine, et d'autres, en général plus aigus, et les plus aigus de tous, qui ressemblent complétement à ceux de la voix de fausset. Ces sons différens peuvent être produits par une même tension donnée. La tension restant la même, c'est quelquefois le son de la voix de poitrine qui sort, et parfois aussi celui de la voix de fausset. Lorsque les cordes vocales ont un certain degré de tension, les sons ont toujours le caractère du fausset, qu'on souffle doucement ou fort. Quand la détente est un peu considérable, ils ont celui de la voix de poitrine, quel que soit le degré de force du souffle. La tension étant très-faible, c'est de la manière dont on souffle qu'il dépend que l'une ou l'autre espèce de son sorte. Les sons de fausset se produisent plus facilement quand on souffle très-faiblement. Les deux espèces de sons peuvent être assez distantes l'une de l'autre, même d'une octave entière.*

Il convient, pour ces expériences, de prendre des larynx appartenant à des individus du sexe masculin. On doit toujours avoir soin de fermer la partie postérieure de la glotte, et de fixer les cartilages aryténoïdes, ainsi que le larynx entier, au moyen des dispositions que j'ai indiquées plus haut. Quand les cartilages aryténoïdes sont fixés perpendiculairement, la seule tension des cordes vocales par le ligament crico-thyroïdien moyen suffit pour donner lieu aux phénomènes dont il s'agit ici ; si l'on tend davantage par des moyens artificiels, il ne sort plus aucun son de la voix de poitrine. Liscovius a le premier découvert que les cordes vocales sont relâchées dans la voix de poitrine, et tendues dans celle de tête ou de fausset. Cependant il est possible, à un certain

degré de détente, d'obtenir, en variant le souffle, des sons de poitrine aussi bien que des sons de fausset, et, pour ce qui concerne les premiers, leur élévation ne dépend pas de l'étroitesse de la glotte, mais du plus ou moins de détente des ligamens, comme je m'en suis convaincu par de nombreuses expériences, et comme je l'ai prouvé par l'exemple cité au paragraphe XVII. La cause des sons de poitrine et de fausset tient donc à une autre circonstance encore que celle qui a été découverte par Liscovius.

XIX. *Lorsque les cordes vocales ont un si faible degré ou de tension ou de détente qu'on parvient, en variant le souffle, à leur faire produire des sons de poitrine et des sons de fausset, on peut se convaincre que ces derniers ne sont pas des sons flûtés, comme ceux auxquels donnent lieu les vibrations des parties aliquotes de la longueur d'une corde. Dans les deux cas, pendant les sons aigus du fausset et les sons graves de la voix de poitrine, les cordes vocales peuvent vibrer de toute leur longueur ; on le constate par le témoignage de ses yeux. La différence essentielle des deux registres consiste en ce que les bords des cordes vocales vibrent seuls dans les sons de fausset, tandis, que, dans ceux de poitrine, les cordes entières exécutent des vibrations vives et à grandes excursions.*

Lehfeldt a le premier observé ce fait. G. Weber est surtout celui qui a insisté sur la comparaison des sons de fausset avec les sons flûtés des cordes, et qui les a considérés comme devant naissance à ce que les cordes vocales vibrent avec des nœuds de vibration. On vient de voir que cette explication ne saurait être admise. Cependant la production des sons de fausset n'est pas sans analogie avec celle des sons flûtés. Ils dépendent de la division des cordes vocales dans le sens de leur longueur, ou des vibrations d'une partie seulement de la largeur de ces cordes, de la partie qui en forme le bord. Naturellement, un ligament qui a une certaine largeur doit être susceptible de plusieurs modes très-différens

de vibrations lorqu'on souffle dessus. Tantôt c'est le bord seul qui vibre, et alors le reste de la membrane n'est que distendu par le courant d'air; tantôt la membrane entière entre en vibration. Dans les sons de fausset, où le bord mince des cordes vocales vibre, on parvient presque toujours à distinguer très-bien encore la fente de la glotte, à cause du peu d'étendue des excursions; dans les sons de poitrine, les excursions sont si grandes que les deux cordes semblent se confondre ensemble. Mais ce ne sont pas seulement les cordes qui vibrent dans leur entier; la membrane avoisinante des ligamens inférieurs de la glotte, qui y tient, et que couvre la partie inférieure, la plus forte, du muscle thyro-aryténoïdien, exécute aussi, de même que ce muscle, des vibrations violentes. Les sons de poitrine deviennent d'autant plus graves qu'on rapproche davantage le cartilage thyroïde des cartilages aryténoïdes fixés perpendiculairement, comme dans l'expérience citée au paragraphe XVII, où le son le plus grave atteignit le si_1. Lorsqu'on détendait davantage, l'air cessait de parler. En éloignant successivement le cartilage thyroïde d'arrière en avant, sans que néanmoins les cordes vocales soient jusqu'à un certain point plus tendues, on obtient, sur un bon larynx d'homme, une série entière de sons de basse, du moins dans l'étendue d'une octave à partir du plus grave possible. On ne peut pas élever davantage la voix de poitrine de cette manière; car elle saute à la voix de fausset, la seule qui soit possible quand les cordes vocales ont un certain degré de tension. La possibilité que les cordes vocales continuent encore, dans un pareil état de détente, de donner des sons forts, se conçoit lorsqu'on réfléchit qu'en les allongeant, le courant d'air leur rend toujours un certain degré de tension, comme il arrive aussi aux rubans de caoutchouc. Les sons de poitrine élevés n'ont jamais été très-faciles à faire sortir sur un larynx détaché du corps. Le son sautant à la voix de fausset pour peu que la tension des cordes vo-

cales augmente, il faut éviter tout accroissement de tension lorsqu'on a envie de produire des sons de poitrine plus aigus. Mais il y a deux moyens à l'aide desquels on parvient, avec une longueur et une détente données des cordes vocales, à élever encore de beaucoup le plus haut son de poitrine qui puisse être obtenu de la manière précédente. Le premier consiste à souffler plus fort, ce qui permet d'élever successivement, sans nulle difficulté, jusqu'à une quinte; les sons de poitrine plus aigus qu'on obtient ainsi, sont désagréables, criards et bruyans. L'autre moyen consiste à rétrécir l'espace situé au dessous des ligamens inférieurs de la glotte. Cet espace et ses parois sont d'une grande importance pour la théorie des sons de poitrine. On n'y a eu nul égard jusqu'à présent. La circonstance que les parois de cet espace sont, immédiatement au dessous des ligamens inférieurs de la glotte, et dans une hauteur de quelques lignes, couvertes par une couche épaisse de chair musculaire, la partie inférieure du muscle thyro-aryténoïdien, suffit déjà pour prouver qu'il doit jouer un rôle important. On sait qu'il se rétrécit à mesure qu'il s'approche de la glotte, avec laquelle il finit par se confondre. Pour se convaincre de l'influence qu'il exerce sur le changement des sons de poitrine, on n'a qu'à prendre un larynx d'homme, enlever, par une section transversale, tout ce qui se trouve jusqu'au dessus des ligamens inférieurs de la glotte, fixer les cartilages aryténoïdes par le procédé que j'ai indiqué, et mettre à découvert la partie charnue du muscle thyro-aryténoïdien, sur les côtés des ligamens inférieurs de la glotte, et plus loin, vers le bas, jusqu'à la membrane interne du larynx, là où elle revêt le devant de la glotte rétréci en forme d'entonnoir. La membrane est encore élastique jusqu'à un certain point, et elle a supérieurement des connexions intimes avec le tissu des cordes vocales. Toute cette membrane de l'espace infundibuliforme antérieur de la glotte entre en vibration, dans les sons de

poitrine, avec toute l'épaisseur et toute la largeur des ligamens inférieurs. Si l'on rétrécit latéralement l'entonnoir, dans sa partie évasée qui regarde vers le bas, qu'en conséquence on agrandisse la glotte dans le sens de sa profondeur de haut en bas, les sons de poitrine augmentent d'intensité, toutes choses égales d'ailleurs. C'est aussi en opérant ce rétrécissement qu'on peut, mieux que par tout autre moyen, prévenir le passage de la voix de poitrine à celle de fausset. On l'opère, sans comprimer les ligamens de la glotte eux-mêmes, au moyen de deux plaques, par exemple des manches de deux scalpels, qu'on appuie ensemble des deux côtés, à quelques lignes au dessous des ligamens inférieurs. Un effet analogue doit être produit, chez l'homme vivant, par les parties inférieures des muscles thyro-aryténoïdiens, qui sont placés, comme des espèces de lèvres musculeuses, sur les côtés de cet isthme. La théorie au moyen de laquelle on peut l'expliquer ressort des expériences sur les languettes membraneuses, expériences dans la relation desquelles j'ai fait voir qu'un bouchon enfoncé dans le porte-vent, immédiatement au devant de la languette, et muni d'une étroite ouverture à son centre, rend le son plus élevé qu'il ne serait avec la même longueur de porte-vent, mais sans bouchon.

Le muscle thyro-aryténoïdien a encore de l'importance sous un autre point de vue. Il ne se borne pas à revêtir l'isthme qui conduit à la glotte et à agir comme obturateur de ce point du porte-vent; il s'étend aussi sur la partie latérale des cordes vocales, avec les fibres externes desquelles les siennes sont intimement entrelacées; puis sur le côté du ventricule de Morgagni, de sorte qu'en se contractant, il peut peser sur les membranes qui vibrent simultanément avec les cordes vocales et sur celles-ci elles-mêmes, d'où résulte une élévation du son, comme je l'ai fait voir en parlant des languettes de caoutchouc. Enfin il peut encore changer la tension des cordes vocales, puisque ses fibres entrent dans la texture de leur

pourtour extérieur, comme l'a démontré naguères Lauth, dont j'ai trouvé les observations conformes à la vérité. Quand le muscle se contracte, une corde vocale même détendue, ainsi qu'elle doit l'être pour produire les sons graves de poitrine, devient un peu plus rigide. Cette action de sa part sur les cordes relâchées ressemble à celle que le sphincter de la bouche exerce sur la tension des lèvres chez l'homme qui sonne de la trompette. On voit que l'élasticité des lèvres de la glotte ne dépend pas seulement de la tension des cordes vocales, tant en avant qu'en arrière, mais qu'elle tient encore au degré de tension de leur pourtour musculeux. Les lèvres de la glotte ne se bornent pas aux ligamens élastiques ; elles sont de plus ligamenteuses et élastiques en dedans, musculeuses en dehors.

On peut aussi remplacer l'action du muscle thyro-aryténoïdien par la compression latérale du cartilage thyroïde, en supposant que celui-ci ne soit point ossifié, et l'on parvient ainsi à élever les sons de poitrine, autant qu'il est possible à la voix humaine de le faire aisément. Si les cordes vocales sont détendues, on évite entièrement par-là les sons de fausset.

Un larynx dont les cartilages aryténoïdes étaient fixés, et dont les cordes vocales étaient portées au plus haut point de détente par la traction d'avant en arrière du cartilage thyroïde, donnait le son de poitrine ut_4. Par une détente moindre et un souffle plus fort, on pouvait faire monter les sons de poitrine jusqu'à ut_3, c'est-à-dire de toute l'étendue d'une octave. Il n'y avait pas possibilité de dépasser ainsi cette limite. Mais si l'on venait à comprimer latéralement le larynx à la région des cordes vocales et au dessous de cette région, les autres sons de poitrine sortaient sans difficulté, et ils montaient d'autant plus que la compression croissait davantage. On parvenait de cette manière à les élever encore d'une octave, jusqu'à ut_2. Là se rencontrait une nouvelle limite in-

franchissable, et la compression du cartilage thyroïde était parvenue au plus haut degré. Il est digne de remarque encore que cette compression excluait totalement les sons de fausset. Il semble donc, si l'on veut considérer une compression ainsi exercée sur les cordes vocales en pesant sur les parties latérales du larynx, comme une imitation du muscle thyro-aryténoïdien, que c'est précisément ce muscle qui, en communiquant de la tension aux cordes vocales et rétrécissant par là l'isthme inférieur de la glotte, exclut la voix de fausset, dont les sons sont d'ailleurs possibles déjà à un degré assez marqué de gravité. Ainsi, sur le larynx précité, le premier son de fausset possible était *la*$\sharp_2$ avant *ut*$_3$, et les autres sortaient à partir de là; cependant tous, depuis *ut*$_3$ jusqu'à *ut*$_4$, étaient exclus par la compression graduelle du larynx, et les plus hauts sons de voix de poitrine étaient encore possibles jusqu'à *ut*$_4$ en continuant toujours d'accroître cette compression. Voici donc quelle est la théorie des sons de poitrine.

1° Les ligamens vibrent dans toute leur longueur, ainsi que les membranes qui y tiennent et le muscle thyro-aryténoïdien.

2° Les sons de poitrine les plus graves s'obtiennent lorsque la détente des cordes vocales est portée au plus haut point possible, par le mouvement d'avant en arrière du cartilage thyroïde.

3° Lorsque la détente est portée si loin, les cordes vocales sont non seulement relâchées, mais encore, dans l'état de repos, ridées et plissées; mais le souffle les distend, ce qui leur donne la tension nécessaire pour vibrer.

4° En rendant la détente moindre, et permettant au cartilage thyroïde de se porter en avant, ou à la traction du ligament crico-thyroïdien médian de céder, les sons de poitrine montent de près d'une octave.

5° Dans la situation moyenne de repos du cartilage thyroïde et des cartilages aryténoïdes, quand les cordes vocales

ne sont ni tendues ni plissées, le larynx a de la disposition à produire des sons de poitrine moyens, ceux qui sortent le plus facilement, ceux entre lesquels et les plus graves prennent place les sons de la parole ordinaire.

6° La seconde octave sort déjà en collision avec les sons de fausset correspondans, mais on évite ceux-ci, et l'on fait monter les sons de poitrine jusqu'à leur dernière limite, soit en comprimant les cordes vocales sur les côtés et rétrécissant l'isthme inférieur de la glotte, au moyen du muscle thyro-aryténoïdien, soit, comme déjà auparavant, en soufflant avec plus de force.

7° Les sons de poitrine dépendent non seulement des cordes vocales, mais encore de la tension des lèvres de la glotte par le muscle thyro-aryténoïdien.

8° Dans les sons de fausset, il n'y a que la partie interne ou le bord des cordes vocales qui vibre; ces sons dépendent, quant à leur élévation, de la tension des cordes vocales.

XX. *L'épiglotte, les ligamens supérieurs de la glotte, les ventricules de Morgagni, la voûte du palais, en un mot toutes les parties situées au devant des ligamens inférieurs de la glotte, ne sont nécessaires ni à la production des sons de poitrine, ni à celle des sons de fausset.*

Cette proposition découle clairement des expériences précédentes.

XXI. *Les sons faciles à produire avec des larynx de femme, sont en général plus élevés.*

Cependant on parvient aussi à en faire sortir de graves en détendant tout-à-fait la glotte, et rapprochant les bords de cette ouverture jusqu'à ce qu'ils se touchent, même lorsqu'elle a peu d'étendue en longueur. Les cordes vocales des larynx de femme sont généralement beaucoup plus courtes que celles des larynx d'homme, et c'est à cela surtout qu'il faut attribuer le caractère plus aigu de la voix des femmes. Ainsi les registres des voix d'homme (basse-taille, ténor) et

des voix de femmes (alto, soprano) dériveraient principalement et primitivement de la longueur diverse des cordes vocales, quoique la différence de capacité du larynx et la force de ses parois y prennent aussi une grande part. Si les parois forment un corps de résonnance faible et petit, il peut arriver que des sons graves soient encore possibles, mais ils n'ont pas d'éclat. Il est vrai que les cordes vocales plus longues de l'homme peuvent suppléer jusqu'à un certain point, par la plus forte tension qui donne lieu aux sons de fausset, ce que les femmes avec des cordes vocales plus courtes produisent aisément à l'aide d'une moindre tension; mais cet effet a nécessairement pour limite celle de la force contractile des muscles. Or Schwann assure que le maximum de la contraction des muscles ne les raccourcit que d'environ un tiers (1).

Comme la tension des cordes vocales peut être opérée simultanément en avant et en arrière par des muscles différens, et que les pièces auxquelles s'insèrent ces cordes peuvent se mouvoir en quelque sorte à la manière de leviers, les moyens sont à la vérité un peu plus forts; cependant l'ascension des sons ne doit point tarder à rencontrer sa limite sur cette voie. La tension une fois parvenue au plus haut point, il n'y a plus que le contact accidentel des cordes vocales sur des parties aliquotes de leur longueur qui puisse produire un son plus élevé, mais aussi plus faible. J'ai cherché à mesurer la longueur des cordes vocales de l'homme et de la femme, et leur proportion dans les deux sexes. Comme on ne doit avoir égard,

(1) Le faible degré de raccourcissement dont les muscles sont susceptibles a rendu nécessaire que, chez l'homme, ces organes s'insérassent partout à peu de distance du point d'appui du levier. Il y aurait économie de force à ce qu'ils fussent insérés plus loin, mais l'étendue du mouvement diminuerait à cause du peu de raccourcissement des muscles, et le biceps, par exemple, ne pourrait plus appliquer l'avant-bras au bras, comme lui permet de le faire, malgré le peu d'étendue de son raccourcissement, son insertion au voisinage du point d'appui.

pour les cas possibles, qu'à la seule longueur des cordes vocales elles-mêmes, et non à la longueur entière de la glotte jusqu'à la partie inter-aryténoïdienne, je n'ai mesuré que la longueur de ces ligamens depuis leur insertion antérieure jusqu'à leur insertion postérieure à l'apophyse antérieure de la base du cartilage aryténoïde. Comme leur tension est variable, il est indispensable, pour établir des comparaisons, de se procurer une base déterminée. Je les mesure et dans l'état de repos et dans celui de tension extrême, par conséquent dans la plus grande longueur qu'on puisse leur donner en éloignant l'un de l'autre le cartilage thyroïde et les cartilages aryténoïdes. En général, les cordes vocales proprement dites sont, dans la plus grande tension possible, plus courtes d'un tiers chez la femme que chez l'homme; cependant on rencontre de nombreuses variations, dont le tableau suivant donnera un aperçu. Pour comparer les larynx d'homme et de femme, je n'ai pris ces organes que sur des individus qui eussent dépassé l'âge de puberté. Une petite partie des fibres de la corde s'attache, un peu plus en arrière que l'extrémité de l'apophyse antérieure, au bord supérieur de cette apophyse, jusqu'auprès du bord antérieur du cartilage aryténoïde; cette portion a été comprise dans les mesures, et celles-ci sont en millimètres.

MAXIMUM DE	HOMMES.						FEMMES.			GARÇON DE 14 ANS.
Tension..	21	21	25	26	23	23	16	15	16	14,5
Repos.....	18	16		21	19		12	12	14	10,5

Longueur moyenne des cordes vocales pendant le repos; chez l'homme 18 1/4, chez la femme 12 2/3.

Longueur moyenne au maximum de tension ; chez l'homme 23 1/6 millimètres, chez la femme 15 2/3.

Les longueurs des cordes vocales de l'homme et de la femme sont donc à peu près dans la proportion de 3 : 2, tant pendant le repos qu'au maximum de tension. Mais l'allongement que ces cordes sont susceptibles d'acquérir, au-delà de leur longueur ordinaire, par l'effet de la tension, est d'un peu moins de 5 millimètres chez l'homme, et de 3 chez la femme.

Des mesures de ces deux états des cordes vocales prises snr des larynx de basses-tailles, de ténors, d'altos, de sopranos et de castrats après lenr mort, seraient du plus grand intérêt ponr la physiologie ; mais il faudrait les prendre concurremment avec d'autres sur des larynx ordinaires, afin que les points de comparaison demeurassent les mêmes ; car lorsqu'on mesure, par exemple, les cordes vocales depuis leur commencement en devant jusqu'à la pointe saillante de l'apophyse antérieure des cartilages aryténoïdes, les quantités sont toujonrs un peu plus petites que celles qui viennent d'être énoncées.

XXII. *A tension égale des cordes vocales par un poids, la force plus grande du souffle élève le son jusqu'à près d'une quinte, et même plus.*

Tous les semi-tons sortent alors avec facilité. Si, par exemple, on part de sol_2, indiqué comme son fondamental des cordes vocales, qnand on souffle aussi doucement que possible, on peut produire en accroissant graduellement la force du souffle sol_2, $sol\sharp_2$ la_2 $la\sharp_2$ si_2 ut_3 $ut\sharp_3$. Si alors on augmente tellement la tension par des poids que le larynx donne, avec le souffle le plus faible possible, l'octave de sol_2, ou sol_3, le son, au moyen de l'accroissement successif du souffle, monte jusqu'à mi_4 par semi-tons assez purs. Dans une autre expérience, le son, par un souffle plus fort, monta successivement de $ré\sharp_3$ à la_3. Cette ascension a été observée aussi par Lisco-

vius. Ferrein la connaissait déjà (1); mais il l'évaluait trop bas, en la réduisant à un semi-ton ou à un ton entier. Sous ce point de vue, l'organe vocal ressemble parfaitement à un larynx artificiel préparé avec des rubans membraneux. A la vérité, comme je l'ai déjà fait remarquer, quand on opère sur des rubans secs en caoutchouc, et qu'on augmente la force du souffle, le son fondamental ne monte que de quelques semi-tons ; mais, avec des languettes élastiques humides du même tissu que les cordes vocales, celles par exemple qu'on tire de la carotide primitive de l'homme, on parvient aussi, en accroissant successivement la force du souffle, à l'élever, de semi-ton en semi-ton, jusqu'à une quinte. Il suit de là qu'on peut employer deux procédés différens pour faire sortir un seul et même son x d'un larynx humain ; le premier consiste à souffler doucement et tranquillement, cas dans lequel les cordes vocales doivent avoir une longueur et une tension y telles que leur son fondamental soit le son x qu'on cherche ; l'autre consiste, les cordes vocales ayant la longueur et la tension voulues pour produire un son fondamental plus grave dans les limites de l'octave immédiatement au dessous, à leur faire rendre le son plus élevé x par la force qu'on donne au souffle. Les deux sons diffèrent beaucoup l'un de l'autre quant à l'éclat. Celui qu'on forme en soufflant doucement est bien plus plein que celui qu'on obtient en soufflant plus fort avec une tension primitive moindre ; la production de ce dernier exige plus ou moins d'efforts selon le plus ou moins de tension primitive des cordes vocales ; il a quelque chose de criard, et présente d'autant moins d'éclat que la tension primitive des cordes vocales s'éloigne davantage de la tension primitive nécessaire à la formation du son x. A-t-on atteint le maximum de tension auquel les cordes vocales donnent le son le plus aigu possible par un souffle tranquille ? on peut encore, en soufflant plus

(1) *Mém. de l'Ac. des sc. de Paris*, 1741, p. 431.

fort, faire sortir quelques autres sons plus aigus, mais criards. L'épreuve sur nous-mêmes nous l'apprend aussi, et l'on voit par-là combien les expériences sur le larynx des cadavres peuvent répandre de jour sur la théorie de la voix humaine.

XXIII. *Quand on inspire l'air, au lieu de l'expirer, les cordes vocales ayant un degré déterminé de tension, le son ne sort point en général; quelquefois seulement il s'en produit un criard et un peu plus grave.*

Comparez, à cet égard, ce que j'ai dit des languettes en caoutchouc.

XXIV. *Lorsqu'on touche la partie extérieure des cordes vocales, elles donnent des sons plus aigus, absolument de même que les languettes en caoutchouc du larynx artificiel.*

XXV. *La longueur du porte-vent et du corps de tuyau n'exerce pas une influence aussi sensible sur le son des cordes vocales que sur celui des anches en caoutchouc.*

Magendie présume que, d'après l'analogie des anches de Grenié, la longueur du porte-vent du larynx humain, c'est-à-dire celle de la trachée-artère, influe sur les modifications du son. Les expériences avec le larynx artificiel à bandes de caoutchouc et celles avec le larynx lui-même ne s'accordent pas très-bien ensemble sous ce rapport, et celles avec le larynx véritable me déterminent à dire que la longueur de la trachée-artère, qui d'ailleurs varie peu, n'exerce aucune influence sur l'élévation des sons.

En ajoutant au porte-vent diverses allonges, de petites et de grandes dimensions, et cherchant à rendre le souffle aussi semblable que possible pour la production du son fondamental d'une tension donnée, je n'ai pu parvenir à abaisser le son d'une manière sensible, quoique cet effet ait lieu ordinairement avec beaucoup de facilité quand on emploie des rubans de caoutchouc, et même des tuniques d'artère. Dans beaucoup de cas, l'allongement et le raccourcissement du porte-vent n'ont paru influer en rien sur le son; dans d'au-

tres, l'allongement du porte-vent a déterminé, la force du souffle étant la même, un abaissement d'un semi-ton, très-rarement d'nn ton entier. De même, lorsqu'avec un porte-vent de longueur déterminée j'ajoutais un corps de tuyau au devant des ligamens inférieurs de la glotte, je n'observais non plus qu'une faible influence de la part de celui-ci. Ces dernières expériences sont beaucoup plus difficiles à exécuter que celles dans lesquelles on allonge le porte-vent, parce qu'on a de la peine à attacher un corps de tuyau au devant des cordes cocales, et parce que, lors même qu'on y réussit, il devient difficile de donner à ces cordes une tension déterminée. Voici comment on arrive au but. On commence par attacher ensemble les extrémités postérienres des cordes vocales, au moyen d'un fil passé immédiatement au devant des apophyses antérieures des cartilages aryténoïdes : c'est le moyen d'assurer l'embouchnre. Les bouts de la ligature sont dirigés en arrière, au dessus de la paroi musculo-membraneuse située entre les cartilages aryténoïdes. L'épiglotte, les ligamens ary-épiglottiques, les cartilages de Santorini et la paroi membraneuse située entre les cartilages aryténoïdes doivent être ménagés ici, parce qu'ils servent à fixer un tuyau de six à huit lignes de diamètre ; mais on enlève le bord supérieur du cartilage thyroïde, pour rendre plus facile la fixation de ce tuyau, auquel on en peut ensuite en ajouter d'autres de même calibre. On fixe alors le larynx, on rapproche les cartilages aryténoïdes l'un de l'autre par une ligature, et l'on imprime une tension déterminée aux cordes vocales à l'aide du cordon, sortant par une très-petite ouverture, qui lie la partie postérieure de ces cordes. Quand on souffle, l'ouverture par laquelle le cordon sort, en arrière, de la cavité du larynx, se trouve bouchée. Ces expériences, qui sont, je le répète, des plus difficiles à exécuter, m'ont laissé convaincu, après de nombreuses répétitions, que la longueur du corps de tuyau n'a pas d'influence sur le son des cordes vocales. L'abaissement

possible dans quelques cas rares ne dépassait point un semiton ; bien plus rarement était-il d'un ton entier ; la plupart du temps, il n'y avait pas de changement appréciable.

Il paraît y avoir là une différence entre le larynx naturel et le larynx artificiel. Dans ce dernier, soit qu'on emploie des rubans en caoutchouc, soit qu'on se serve de tuniques artérielles humides, l'allongement du corps de tuyau détermine un abaissement du son dont j'ai fait connaître les limites. Cependant la différence n'est point absolue ; car il arrivait quelquefois, surtout quand le son sortait difficilement, parce que les ligamens étaient trop lâches ou trop tendus, que ceux-ci n'abaissaient point le son, ou ne l'abaissaient que d'une manière très-peu sensible lorsque j'allongeais ou le corps de tuyau ou le porte-vent. J'ai tenté plusieurs expériences pour découvrir la cause à laquelle cette différence peut tenir. L'explication la plus vraisemblable me semble être celle-ci. Dans le larynx, quand les cordes vocales ont un certain degré de tension, il ne s'agit que de leurs vibrations propres, puisque la membrane qui unit leur pourtour avec les parois du larynx n'est point tendue. Mais, dans les larynx artificiels à languette en caoutchouc ou en tunique artérielle, outre qu'il y a tension de celles-ci en deux directions sur leur bord, la portion moins tendue influe sur les vibrations de ce bord, comme on peut s'en convaincre en posant légèrement le doigt dessus. Au moyen de cette plus grande largeur et de cette continuité entre la portion tendue et la portion non tendue de la membrane élastique, celle-ci est plus susceptible d'éprouver, dans ses vibrations et ses sons, des modifications dépendantes de la longueur du corps de tuyau et du porte-vent, que les cordes vocales, dont les vibrations primitives demeurent, en grande partie, bornées à elles-mêmes.

J'avais pensé que l'extensibilité du porte-vent du larynx, ou de la trachée-artère, pourrait être cause du peu d'influence des corps de tuyau. Cette conjecture ne s'est cependant point

confirmée ; car, quand je remplaçais la trachée-artère par un tuyau en bois, je n'obtenais pas de changemens plus considérables du son en ajoutant des corps de tuyau. Toutefois, les membranes situées entre les cartilages du larynx ont, par la distension que le vent leur fait éprouver, quelque part à cette différence entre le larynx naturel et le larynx artificiel, dont les parois sont absolument rigides.

Dans les expériences ayant trait à l'influence des corps de tuyau sur le son des cordes vocales du larynx lui-même, il m'a semblé qu'à une longueur déterminée du porte-vent, le son sortait moins bien qu'à d'autres, ce qu'on remarque aussi dans les anches en caoutchouc. C'est à cela qu'il tient que la colonne d'air ne peut pas bien s'accommoder aux anches. Wheastone a déjà signalé cette circonstance dans d'autres anches, et Bishop accorde beaucoup d'importance à l'accommodation réciproque des colonnes d'air en avant et en arrière des cordes vocales pendant la vie. Cette influence a cependant été très-faible dans mes expériences, et je ne l'ai observée que quelquefois parmi un grand nombre de cas, en sorte que je ne puis pas lui accorder l'influence sur l'organe de la voix humaine que Bishop lui attribue. Au contraire, il apparaît clairement que, dans les changemens des sons, chez l'homme, on doit fort peu compter sur le raccourcissement et l'allongement tant de la trachée-artère que de l'espace situé au devant des cordes vocales par les mouvemens de descente et d'élévation du larynx. Tout au plus peut-on admettre que l'allongement du tuyau placé au devant des cordes vocales par l'ascension du larynx, et son raccourcissement par la descente de cet organe facilitent, toutes choses égales d'ailleurs, dans le premier cas la formation des sons graves, et dans le second celle des sons aigus, ce qui du moins est confirmé par ce qu'on observe sur l'homme vivant.

XXVI. *La structure en partie membraneuse du porte-vent, c'est-à-dire de la trachée-artère, ne modifie pas sensiblement*

le son des cordes vocales, et la trachée-artère se comporte comme le ferait un tuyau en bois de même diamètre.

Sous ce rapport, les anches à languettes membraneuses et porte-vent en partie membraneux se comportent tout autrement que les anches membraneuses à colonne d'air vibrante, dans lesquelles, d'après les découvertes de Savart, la co-vibration des parois membraneuses modifie considérablement les vibrations principales de la colonne d'air. Cette influence va si loin ici, qu'une anche en carton mouillé mince peut abaisser le son de toute une octave au dessous de celui que donne une anche d'égale longueur, mais à parois rigides. Dans les anches très-courtes et cubiques, l'abaissement est plus considérable encore, et peut aller à deux octaves entières. Je fabriquai un porte-vent long de sept pouces et demi, avec trois pouces de trachée-artère d'homme et quatre pouces et demi de tuyau en bois : le son d'une languette en caoutchouc soufflée avec ce tube, fut le même que celui qui était produit par un porte-vent rigide d'égale longueur. L'apposition de la main sur la partie membraneuse de la trachée-artère n'exerce pas non plus d'influence appréciable.

XXVII. *Le double corps de tuyau ajouté à l'organe vocal de l'homme, savoir le tube buccal et le tube nasal, ne paraît pas agir autrement qu'un corps de tuyau simple, sous le rapport de l'élévation du son, mais il change l'éclat de ce dernier, par l'effet de la résonnance.*

J'ai cherché à déterminer cette influence sur un larynx artificiel à rubans de caoutchouc, qui se terminait par un corps de tuyau court auquel on pouvait adapter un tube bifurqué. Le son était le même, pour l'élévation, qu'avec un corps de tuyau simple de même longueur; mais il était plus éclatant.

XXXVIII. *Lorsqu'on couvre la cavité supérieure du larynx en déprimant l'épiglotte, le son devient un peu plus grave et en même temps plus sourd.*

C'est un effet analogue à celui que l'on produit en couvrant

un corps de tuyau court adapté au larynx artificiel. Nous nous servons évidemment de ce moyen pour produire des sons très-graves. C'est du moins le but que paraît avoir le mouvement d'abaissement et de rétraction qu'on imprime à la langue, en penchant la tête en avant, lorsqu'on veut produire des sons de basse-taille très-graves.

XXIX. *Du reste, l'épiglotte semble ne servir en rien à modifier les sons.*

J'attachai une épiglotte humaine au pourtour d'un corps de tuyau, un peu au devant de la lame en caoutchouc d'un larynx artificiel, en l'établissant à peu près à la même distance de la glotte que dans le larynx naturel. Le son que j'obtins en soufflant ne différait pas de celui qui avait lieu quand j'enlevais l'épiglotte ; cependant il fallait que celle-ci pût vibrer, car dès qu'elle était attachée de manière à agir comme obturateur, le résultat était le même qu'avec tout autre bouchon quelconque. Grenié a cherché à empêcher le son de monter dans les anches à languette métallique, en mettant au dessus de celle-ci une petite lamelle vibratile fixée seulement par sa base ; Biot et Magendie présument que l'épiglotte remplit la même fonction. Les expériences directes que j'ai faites ne parlent point en faveur de cette hypothèse. Toutes choses égales d'ailleurs, le souffle peut élever successivement le son jusqu'à la limite d'une quinte, que l'épiglotte existe ou non. En mettant le doigt dans sa gorge jusqu'au bord supérieur de l'épiglotte, on peut se convaincre que celle-ci ne change pas de position, qu'on fasse sortir le son avec la voix de fausset ou avec celle de poitrine.

XXX. *Les piliers du voile du palais et la luette se raccourcissent dans les sons de poitrine élevés, comme dans les sons de fausset, et, le son restant le même quant à l'élévation, l'isthme du gosier conserve le même degré d'étroitesse, que ce son appartienne à la voix de poitrine ou à la voix de fausset. On peut*

aussi, dans les deux cas, toucher les piliers du voile du palais avec les doigts, sans que le son change.

Rien n'est plus facile que de se convaincre de tous ces faits en introduisant le doigt dans la bouche, sur le côté, jusqu'à l'isthme du gosier. Ils réfutent l'opinion de Bennati, qui croyait que les piliers du voile du palais prennent part à la formation des sons de la voix de fausset, ou les produisent. Le simple fait du rétrécissement de l'isthme du gosier dans les sons élevés, a été observé d'abord par Fabrice d'Aquapendente, puis, dans les temps modernes, par Mayer, Bennati et Dzondi.

XXXI. *Le rétrécissement du commencement du corps de tuyau ou de la cavité supérieure du larynx, immédiatement au devant des ligamens inférieurs de la glotte, peut, d'après la théorie des anches, élever un peu le son.*

Cependant on ne saurait en donner la démonstration par des expériences, attendu qu'il n'est guère possible de comprimer la cavité laryngienne supérieure sur un larynx détaché du corps, sans exercer quelque action sur les cordes vocales. Un simple rétrécissement n'a pas d'influence sensible.

XXXII. *Les ventricules de Morgagni ne servent évidemment qu'à rendre les cordes vocales libres en dedans, afin que leurs vibrations ne soient pas gênées.*

Cet usage leur a déjà été assigné par plusieurs écrivains, tels que Malgaigne, Ch. Bell et autres. Malgaigne compare les ventricules de Morgagni au godet de l'embouchure de la trompette, qui met les lèvres en liberté.

C. *Conclusions générales.*

Des expériences faites sur le larynx artificiel à languettes membraneuses, et de celles sur le larynx humain lui-même, dont les résultats s'accordent parfaitement ensemble, quant aux points essentiels, il suit que l'organe vocal de l'homme est une anche à deux lèvres membraneuses. Telle est l'opi-

nion de plusieurs physiciens, comme Biot, Cagniard La Tour, Muncke, de musiciens théoriciens, comme G. Weber, et de quelques physiologistes, comme Magendie, Malgaigne, etc. Ferrein en avait déjà préparé les bases, en 1741, par ses expériences sur les sons que produisent les cordes vocales, et sur les modifications que les diversités de longueur et de temsion de celles-ci leur font subir. Savart lui-même, qui attaqua la comparaison de l'organe vocal avec une anche, convint que, lorsqu'on fait sortir des sons en soufflant dans la trachée-artère dont toute la partie antérieure a été retranchée jusqu'aux ligamens inférieurs de la glotte, ils sont produits de la même manière que ceux des anches. A la vérité, il regarde les sons des anches comme ne ressemblant pas à ceux de la voix humaine; mais, en suivant la méthode que j'ai employée, il m'a été impossible de trouver entre eux aucune différence essentielle; j'obtiens les sons de poitrine et ceux de fausset, avec tout l'éclat dont ils sont susceptibles, en réunissant les conditions que j'ai fait connaître, et ce qu'il y a de différent peut dépendre du corps de tuyau ajouté à l'organe vocal. Savart pense que le corps à proprement parler sonore est l'air des ventricules compris entre les ligamens supérieurs et inférieurs de la glotte, et il compare cet appareil à l'appeau des oiseleurs, petite anche à colonne d'air vibrante. Cependant l'appareil élastique des ligamens inférieurs de la glotte et les moyens d'organisation employés pour amener leur tension sont trop évidemment calculés dans la vue d'un instrument à anche, pour qu'on puisse attacher une grande valeur à cette objection d'un homme qui a d'ailleurs rendu de si grands services à l'acoustique. En outre, la différence de tension ne modifie pas moins les sons dans les larynx auxquels on a laissé les ventricules latéraux et les ligamens antérieurs de la glotte, que dans ceux où l'on a enlevé ces parties jusqu'aux ligamens inférieurs de la glotte. Les Mammifères auxquels manquent les ligamens supérieurs de la glotte, les Ruminans, s'élèvent

d'ailleurs contre la théorie de Savart. Tout l'appareil situé au devant des ligamens inférieurs peut bien avoir quelque influence sur la modification du son, comme le corps de tuyau ajouté à l'embouchure des instrumens à anche, et cela plutôt par le rétrécissement de la cavité supérieure du larynx que par la longueur du tuyau ; cette partie antérieure du larynx peut aussi avoir, dans l'organe vocal de l'homme, une disposition particulière que nous ne saurions procurer au corps de tuyau d'une anche ; mais la cause principale du son n'en demeure pas moins la vibration des ligamens inférieurs de la glotte eux-mêmes, et les sons naissent aussi simplement de ces membranes élastiques que du sphincter de l'anus, où la tension par la contraction musculaire remplace l'élasticité propre des cordes vocales.

Fechner objecte que si l'organe vocal était une anche, il devrait ne pas se produire de sons pendant l'ouverture de la glotte ; d'après la théorie des anches, les sons ne devraient dépendre que des alternatives d'ouverture et de fermeture de la glotte en vertu de l'interruption périodique du courant d'air ; mais les cordes vocales peuvent très-bien vibrer sans clore périodiquement la glotte ; donc la production des sons est réellement indépendante de cette occlusion. Cependant j'ai démontré que cette théorie de la production des sons par les anches n'est point aussi exacte qu'on l'admet généralement ; car il suffit de simples courans d'air passant au devant de languettes minces pour produire des sons pareils, quant au degré et à l'éclat, à ceux qui ont lieu quand les languettes agissent comme des valvules ; d'ailleurs, il y a une position de la languette, soit métallique, soit membraneuse, qui fait qu'elle ne se meut plus comme valvule, mais vibre librement au devant de l'ouverture, par l'effet de la force du courant d'air, lorsque celui-ci a une force suffisante pour rechasser la languette avant qu'elle ait pu clore l'ouverture. Enfin, il est souvent possible, sur le larynx artificiel à languettes en

caoutchouc, de faire sortir encore des sons quoique les lèvres de l'anche laissent entre elles une fente considérable.

Quant à la comparaison des ligamens de la glotte avec des cordes, elle est exacte sous certains points de vue, mais manque de justesse à d'autres égards. Les expériences de Ferrein qui établissent cette analogie sont du nombre des meilleures qu'on ait jamais faites. Ferrein a montré que les ligamens de la glotte résonnent à la manière des cordes que l'air fait parler, et que les sons qu'ils produisent ne varient point en raison de la largeur diverse de la glotte. La moitié des cordes vocales lui donnait l'octave de leur son fondamental, et le tiers leur quinte. Enfin, il a trouvé qu'un changement de deux à trois lignes dans la longueur de ces ligamens suffisait à toutes les variations de la hauteur de son, la tension remplaçant ici ce que la diversité de longueur opère sur les cordes tendues également. Quoique ces expériences aient été attaquées par Bertin, Montagnat, Runge et Nollet les trouvèrent exactes (1). En effet, celles que j'ai faites sur le larynx artificiel s'accordent parfaitement avec elles. La moitié d'une languette de caoutchouc donnait l'octave du son fondamental; et les expériences avec la tension des cordes vocales soumises à la mensuration ont fait voir qu'en général ces languettes changent leurs vibrations d'après les mêmes lois à très-peu près que les cordes. Je ne puis me ranger à l'avis de Biot, quand il dit : « Qu'y a-t-il dans la glotte qui ressemble à une » corde vibrante? Où trouverait-on là place nécessaire pour » donner à cette corde la longueur qu'exigent les sons les plus » graves? Comment pourrait-on en tirer jamais des sons d'un » volume comparable à ceux que l'homme produit? Les plus » simples notions d'acoustique suffisent pour faire rejeter cette » étrange opinion. » Il est facile de réfuter l'objection de Biot. Toute languette membraneuse vibre d'après les lois des cor-

(1) Haller, *Element. physiol.* III. *Lib.* IX, § 8, 9, 10.

des, comme toute languette métallique d'après celles des verges. Une corde, à quelque degré qu'on la raccourcit, pourrait encore produire des sons graves si l'état de détente où elle doit être permettait qu'elle eût encore de l'élasticité. Mais les membranes plastiques et les rubans de caoutchouc ont encore ce degré d'élasticité lorsqu'ils sont très-détendus, et nous avons vu qu'en se raccourcissant, ces courts rubans changent leurs sons, comme les cordes, en raison inverse de la longueur. De petites lamelles en caoutchouc tendues donnent même, par la percussion, des sons clairs, quoique ceux-ci ne soient pas soutenus comme dans les cordes longues; mais le choc continu de l'air, en soufflant, fait qu'ils se soutiennent et qu'une lamelle qui vibre comme corde par simple percussion se transforme en anche. Sous ce point de vue donc, les ligamens de la glotte ressemblent parfaitement aux cordes, et la seule différence consiste dans le corps qui les fait parler. Jusqu'ici la comparaison établie par Ferrein est parfaitement exacte.

Mais, sous un autre rapport, les cordes vocales diffèrent totalement des cordes ordinaires, et cette différence est assez grande pour leur assigner, ainsi qu'aux autres anches membraneuses, une place particulière parmi les instrumens de musique. Une percussion plus forte rend le son d'une corde plus grave; la force plus grande du souffle élève, au contraire, le son d'une languette membraneuse d'un semi-ton, de deux, ou plus, et quand les languettes membraneuses élastiques sont humides (cordes vocales et rubans de tunique artérielle), l'élévation va même jusqu'à un grand nombre de semi-tons. L'anche métallique d'une trompette d'enfant donne toujours, quand on souffle avec plus de force, des sons plus aigus, dont l'élévation va jusqu'à une octave et demie sans intervalles, et si d'autres anches métalliques ne se comportent pas de la même manière, il n'en faut chercher la cause que dans leur force comparée à celle du courant d'air. Ainsi, dans une an-

che, l'élévation du son dépend à la fois et de l'anche et de l'air qui la choque. Au contraire, dès qu'une corde a reçu une impulsion, celle-ci n'exerce plus d'action ultérieure et modifiante sur les vibrations; la corde est abandonnée aux seules oscillations qui dépendent de sa longueur et de sa tension.

Plusieurs physiologistes, parmi lesquels on compte Dodart et Liscovius, ont cherché la cause essentielle de la voix dans la largeur ou l'étroitesse de la glotte et dans les vibrations de l'air produites en cet endroit.

Quoique Dodard connût bien l'influence que la tension des cordes vocales exerce sur le changement du son, cependant il finit par ne plus attribuer la production des différens sons qu'à la grandeur de l'ouverture, admettant que, selon leur degré de tension, les cordes vocales déterminent, par les vibrations que l'air leur imprime, une ouverture différente de la glotte. Il disait qu'un changement, dans la glotte, de 1/54 d'un fil de soie, ou de 1/384 de cheveu, donne déjà un autre son. Cette hypothèse est absolument inexacte; car, pourvu que la tension des cordes vocales ne varie point, un changement, même notable, de l'ampleur de la glotte ne fait pas varier l'élévation du son.

Quant à la théorie de Liscovius, voici en quoi elle consiste. C'est de la glotte elle-même et de sa différente largeur que dépendent principalement et la production de la voix et son caractère divers d'acuité ou de gravité. En passant avec une certaine violence et avec rapidité à travers cette ouverture étroite, l'air éprouve une compression et un ébranlement tels que toutes ses molécules subissent un mouvement de va-et-vient. Quelque chose d'analogue arrive toutes les fois que l'air traverse une ouverture étroite quelconque. Plus l'ouverture de la glotte est grande, plus le son est grave, parce qu'il résulte de là des ondes aériennes plus grandes et par conséquent plus lentes.

Les objections de Liscovius contre la production du son

par les cordes vocales elles-mêmes sont celles-ci. Suivant lui, les cordes vocales doivent être tendues dans les sons graves, et relâchées dans les sons aigus ; car, dans les sons graves, la la glotte s'élargit et ses ligamens s'écartent; mais, dès qu'une ouverture devient plns grande, sans que son pourtour se déchire, les bords doivent nécessairement subir une distension. Ainsi il n'y a pas de dilatation de la glotte possible sans tension simultanée des cordes vocales; par conséquent celles-ci sont tendues dans les sons graves, et relâchées dans les sons aigus. Ceci repose évidemment sur un malentendn. Lorsqu'au moyen de l'appareil que j'ai décrit précédemment, on donne une tension déterminée aux cordes vocales, on peut, sans rien changer à cette tension, varier à volonté la longueur de la glotte. Cette ouverture peut être ou large ou étroite, que les cordes vocales soient tendues ou soient relâchées. Liscovius fait ensuite remarquer qu'il n'y a que les cordes sèches qui soient élastiques, et que les ligamens de la glotte sont toujonrs humides. Mais la corde n'est qu'une espèce parmi les corps filiformes élastiques par tension ; cette espèce perd son élasticité quand on la mouille. Au contraire, le tissu élastique du corps humain ne possède son élasticité qu'autant qu'il est humide, et il la perd en séchant. Ce sont là des différences spécifiques, qui ne changent rien aux lois des corps filiformes élastiques par tension.

L'objection que les cordes vocales, en leur qualité de ligamens, ne pourraient produire ni des sons graves ni des sons d'un volume comparable à ceux que l'homme fait entendre, a déjà été renversée précédemment. Dans les discnssions qu'a soulevées la comparaison établie entre les ligamens et les cordes, les partisans et les adversaires se sont beauconp trop attachés à la considération des corps filiformes élastiques par tension, et ils ont été par-là conduits à mal interpréter les phénomènes. Qu'aux cordes à boyau l'on substitue des fils plus

élastiques en caoutchouc ou en tissu élastique animal, et l'on voit disparaître les particularités accidentelles que nous offrent les cordes à boyau.

Liscovius fait remarquer qu'il n'y a pas de corde à laquelle l'air seul puisse imprimer des ébranlemens suffisans pour qu'elle produise des sons forts. Mais les sons les plus forts s'obtiennent avec des rubans en caoutchouc ou en tissu animal élastique humide sur lesquels on dirige un courant d'air grêle à l'aide d'un petit tube.

Liscovius prétend que l'influence de la tension et du relâchement des cordes vocales sur l'acuité ou la gravité du son, se réduit à l'élargissement de la glotte qui résulte de là. A cela je dois opposer l'observation constamment faite par moi, qu'à égale ampleur de la glotte, des sons peuvent être produits, dans l'étendue de deux octaves, par une simple modification de la tension des cordes vocales.

Lorsque Liscovius, en soufflant dans la glotte, tendait l'un des ligamens avec force, en même temps qu'il relâchait l'autre beaucoup, il ne produisait pas deux sons différens, mais un son unique, dont l'élévation était en rapport avec la largeur de l'ouverture de la glotte. La première observation est parfaitement exacte. Mais, en cela, les cordes vocales se comportent absolument comme des rubans tendus de caoutchouc. J'ai fait voir que, quand la tension est inégale, il n'y a ordinairement qu'une seule corde qui résonne, l'autre se comportant comme cadre; il est rare qu'on entende deux sons, c'est-à-dire le son fondamental de chacun des deux rubans, et les choses se passent de même avec les cordes vocales.

Quand Liscovius touchait les cordes vocales avec le doigt, mais sans changer par-là l'ampleur de la glotte, le son demeurait le même, bien qu'il eût dû être plus aigu, si les lois des cordes s'appliquaient ici. Mes observations sur les rubans de caoutchouc, d'accord avec celles que j'ai faites sur les

cordes vocales, m'ont prouvé que l'apposition du doigt modifie considérablement le son, alors même que la grandeur de la glotte ne change point.

Le simple rétrécissement de la glotte sans changement dans la tension des cordes vocales rend le son plus aigu; son simple élargissement, la tension des cordes demeurant la même, le rend plus grave. Mais l'élévation du son ne dépend pas uniquement de la largeur de la glotte seule; elle tient à son ampleur, c'est-à-dire à sa longueur et à sa largeur en même temps. Je trouve qu'on peut encore produire les sons graves avec une glotte très-courte, pourvu que les cordes soient tout-à-fait lâches; le raccourcissement de la glotte d'avant en arrière fait bien, généralement parlant, monter le son, mais à la condition toutefois que la tension demeure la même. La largeur de la glotte n'a pas d'influence essentielle sur l'élévation du son, si ce n'est seulement qu'elle rend plus difficile de souffler convenablement par la trachée-artère. Aussi, dans ce cas, non seulement le son sort avec peine et n'a point d'éclat, mais encore, si la largeur de l'ouverture est portée un peu loin, on n'obtient que le son fondamental des cordes vocales, et l'accroissement du souffle n'élève le son que fort peu, tandis que, quand la glotte est étroite, la tension demeurant la même, outre qu'un souffle faible fait sortir le son fondamental, on peut, en soufflant plus fort, obtenir aussi tous les semitons jusqu'au-delà de la quinte.

L'influence de la force du souffle sur l'élévation du son a été parfaitement observée par Liscovius et Lehfeldt. Liscovius avait déjà vu qu'à égalité de largeur de la glotte et de tension des cordes vocales, le son est d'autant plus grave qu'on souffle plus doucement, et d'autant plus aigu qu'on souffle plus fort. Ainsi il est parvenu, par le seul renforcement du souffle, à faire monter le son d'une quinte entière, terme au-delà duquel il devenait criard, ce qui s'accorde parfaitement avec mes observations.

Lehfeldt (1) a le premier découvert un point capital dans la théorie des sons de poitrine et des sons de fausset, savoir que les ligamens entiers vibrent dans le premier cas, et leurs bords seulement dans le second, et que, toutes choses égales d'ailleurs, les sons de fausset sont plus aigus que ceux de poitrine.

Ferrein, Liscovius et Lehfedt sont, jusqu'à présent, ceux qui ont le plus contribué à éclairer la théorie de la voix.

D. *Chant.*

Les sons que l'organe de la voix est apte à produire peuvent se succéder de trois manières différentes.

Le premier mode est la succession monotone. Ici les sons qui sortent les uns après les autres conservent presque la même élévation. C'est ce qui a lieu dans la parole, où l'articulation produite par les parties de la bouche s'ajoute au son de la voix et engendre les différences. Cependant il est assez rare, même dans la parole, que les sons demeurent tous au même degré d'élévation, car il y a des syllabes dont le son est plus grave ou plus aigu, ce qui constitue l'accent. Dans la poésie, le rhythme se joint à l'accent, mais il y manque la modulation de la musique.

Le second mode est le passage successif à des sons qui montent et baissent sans intervalles. Cet effet a lieu dans les cris de l'homme, lorsqu'ils expriment une émotion de l'âme; on l'observe particulièrement chez les personnes qui pleurent; il constitue aussi le hurlement et le cri plaintif du Chien. C'est le même phénomène que celui qu'on désigne en musique sous le nom de détonner, qui consiste à ne point observer la justesse des intervalles. Une corde détonne quand on la détend et quand on la tend davantage en la faisant parler, une anche de deux pouces donne des sons qui montent successivement et

(1) *De vocis formatione*, Berlin, 1833, p. 51, 58, 49.

insensiblement lorsqu'on souffle plus fort; une languette membraneuse produit aussi cet effet, et les cordes vocales sont dans le même cas. L'action de détonner qui constitue le hurlement doit tenir en partie à l'accroissement et à la diminution de la force du souffle, en partie au changement successif de la tension des cordes vocales (1).

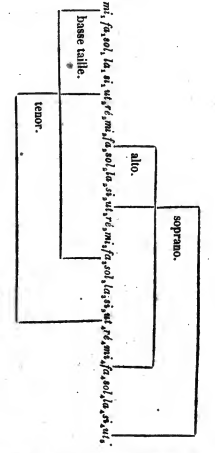
Le troisième mode est la succession musicale, dans laquelle chaque son conserve le nombre nécessaire de vibrations, et les sons successifs ne se font entendre qu'aux intervalles admis en musique. Le rhythme lui est commun avec la poésie.

1. Etendue de la voix.

L'étendue de la voix d'un individu est de une, deux ou trois octaves; chez les chanteurs, il y a deux à trois octaves qui conviennent au chant. Mais les voix d'hommes et celles de femmes commencent et s'arrêtent à des points différens de l'échelle musicale. En appelant ut_1 le son du tuyau d'orgue de huit pieds ouvert, ou du tuyau de quatre pieds couvert, les voix d'hommes commencent à mi_1 (basse-taille) ou la_1 (baryton) ou ut_2 (ténor), et s'étendent jusqu'à la_2 et plus (basse-taille), ou fa_3 (baryton) ou ut_4 (ténor). La voix de femme n'a une gravité égale à celle de l'homme que chez une virago. Les voix des femmes, des jeunes garçons et des castrats commencent entre fa_2 (alto) et ut_3 (soprano), et vont jusqu'à fa_4 (alto) ou la_4 (mezzo soprano), ou ut_5 (soprano), dans les cas extrêmes jusqu'à fa_5. Le son le plus grave de la voix de femme est donc d'une octave environ plus élevé que le son le plus grave de la voix d'homme, et le son le plus élevé de la voix de femme se trouve à peu près à une octave au dessus de celui de la voix d'homme. Les quatre premiers

(1) Consultez un article de Colombat *sur le mécanisme des cris et leur intonation notée dans chaque espèce des douleurs physiques et morales*, dans la *Lancette française*, mardi, 17 décembre 1839.

sons manquent, en général, de force dans toutes les voix. L'étendue des voix d'homme et de femme prises ensemble comporte quatre octaves, depuis *mi*$_1$ jusqu'à *mi*$_5$. Le tableau suivant donne l'échelle entière de la voix humaine, et indique l'étendue moyenne des différentes voix.



Fischer atteignait le *fa* de l'octave au dessous d'*ut*$_1$, la plus jeune des sœurs Sessi embrassait trois octaves et trois tons,

de ut_2 à fa_4, madame Zelter trois octaves, madame Catalani trois et demie.

Dans les sons graves, le larynx descend, ce qui allonge le corps du tuyau de l'organe vocal. Dans les sons aigus, il remonte, et ce même corps de tuyau devient plus court. Plus on chante haut, plus les piliers du voile du palais se rapprochent, et plus la luette se raccourcit. Ces effets n'ont pas lieu seulement dans les sons de fausset : on les observe aussi dans les sons élevés de la voix de poitrine.

2. *Espèces de voix des divers individus.*

La principale différence entre les voix d'hommes et de femmes est généralement celle qui tient à l'élévation. Cependant elles diffèrent aussi pour le timbre, celles d'hommes en ayant un plus dur. Mais il y a encore des nuances particulières dans le timbre; on en compte deux pour les voix d'hommes et autant pour les voix de femmes. Les timbres des voix d'hommes sont la basse-taille et le ténor, ceux des voix de femmes, l'alto et le soprano. La basse-taille chante communément sur un ton plus grave que le ténor, et déploie toute sa force dans les tons graves; le ténor chante sur un ton plus élevé que la basse-taille avec la voix de poitrine. L'alto est en général une voix plus grave que celle du soprano, et sa force est dans les sons graves de la voix de femme. Mais ces différences ne sont point essentielles; car il y a des basses-tailles qui peuvent chanter des notes très-hautes, et l'alto monte quelquefois aussi haut que le soprano. La différence essentielle entre la basse-taille et le ténor, entre l'alto et le soprano, tient au timbre qui, pour les premiers, comme pour les seconds, varie alors même qu'ils chantent les mêmes sons. Le baryton et le mezzo-soprano sont caractérisés par un timbre moins prononcé; ils ont aussi des hauteurs moyennes dans l'échelle des voix d'homme et de femme. La différence entre la voix des personnes sous le rapport de

l'élévation des sons dépend de la longueur diverse des cordes vocales de l'homme et de la femme, dont la proportion est de 3 : 2. Celle qui se rattache au timbre tient à la disposition et à la forme des parois résonnantes, qui sont beaucoup plus grandes dans le larynx de l'homme, où le cartilage thyroïde forme un angle très-marqué en avant. La différence du timbre entre le ténor et la basse-taille, d'un côté, l'alto et le soprano, de l'autre, dépend probablement de qualités encore inconnues des cordes vocales et des parois résonnantes, tant membraneuses que cartilagineuses, qualités à la recherche desquelles il faudrait procéder en examinant les larynx de personnes dont la voix offrirait ces quatre caractères à un très-haut degré. Il faut se représenter cette différence comme étant du genre de celles qui existent entre les instrumens de musique de matière différente, les cordes à boyau et celles en métal, les anches en bois, en métal et en membranes, les instrumens à colonne d'air vibrante ou à parois résonnantes en métal, en bois, en papier. Ces instrumens peuvent être accordés ensemble, et cependant chacun d'eux rend les sons avec le timbre qui lui est particulier. Le larynx des jeunes garçons ressemble plus à celui de la femme qu'à celui de l'homme ; avant l'âge de la puberté, ses cordes vocales n'ont point encore les deux tiers de la longueur qu'elles atteignent à cette époque ; l'angle du cartilage thyroïde est aussi peu saillant que chez la femme. Le jeune garçon est alto ou soprano ; après le changement de forme que son larynx subit de quatorze à quinze ans, il devient basse-taille ou ténor. Tant que cette métamorphose dure, la voix est sans netteté, souvent rauque et criarde, et impropre au chant, jusqu'à ce que l'individu ait contracté l'habitude de mettre en exercice les nouvelles qualités qu'il a acquises. Chez les castrats auxquels les testicules ont été enlevés avant la puberté, la voix ne mue point, et ils conservent celle des femmes. Ce développement, comme celui de

tout ce qui caractérise le sexe masculin, dépend de l'existence des parties génitales préparatrices du germe et du sperme. Les voix d'alto et de soprano des jeunes garçons et des castrats ressemblent à celles des femmes, eu égard à l'élévation, mais elles en diffèrent jusqu'à un certain point pour le timbre, et sont plus perçantes. Liscovius fait remarquer que la voix des castrats n'a pas non plus le même timbre que celle des jeunes garçons, ce qu'il attribue à ce que les parois résonnantes des cavités orale et nasale deviennent aussi spacieuses que chez l'homme, tandis que l'organe vocal reste au même degré que dans l'enfance. Cependant les parois sont également amples chez la femme; peut-être faut-il attribuer une influence plus réelle au changement que les cartilages et les ligamens subissent eu égard à leur solidité.

3. *Espèces de voix d'un même individu. Voix de poitrine et de tête.*

La plupart des individus de l'espèce humaine, les hommes surtout, outre que leur voix appartient plus ou moins à l'une des classes qui viennent d'être examinées, peuvent encore, à moins qu'ils ne soient tout-à-fait incapables de chanter, modifier leur voix de manière à lui faire parcourir deux registres de sons, celui des sons de poitrine et celui des sons de tête ou de fausset. La voix de poitrine est plus pleine que celle de fausset, et lorsqu'on l'entend, on sent très-distinctement qu'elle vibre avec plus de force, qu'elle a aussi plus de résonnance. Les sons les plus graves de la voix humaine ne sont possibles qu'avec la voix de poitrine, et les plus élevés ne le sont qu'avec celle de fausset; les moyens sortent avec l'une comme avec l'autre. Ainsi les deux registres ne sont point placés bout à bout, de manière que l'un commence où l'autre finit : ils marchent en partie l'un à côté de l'autre. Généralement, le ténor commence dès le la_3 à passer au fausset, tandis que les sons inférieurs peuvent sortir avec l'une et avec l'autre voix; le passage a lieu

plus tôt encore pour la basse-taille. Chez les femmes il y a rarement une différence bien prononcée entre la voix de poitrine et celle de fausset.

Les sons de poitrine sont produits, comme Lehfeldt l'a découvert, par un souffle plus fort, les cordes vocales étant détendues et vibrant dans leur entier ; les sons de fausset le sont par nn souffle faible, les cordes vocales étant plus tendues, mais ne vibrant que par leurs bords. Une tension modérée rend les deux sons possibles sur le larynx détaché du corps ; le son de poitrine est toujours plus grave de plusieurs tons que le son de fausset, la tension des cordes vocales demeurant la même, et son degré de gravité au dessous du fausset est d'autant plus grand, qu'il faut un souffle plus faible pour produire le son de poitrine, ou un souffle plus fort pour faire sortir celui de fausset ; cette différence peut aller à une octave entière. Les sons de poitrine augmentent de gravité à mesure que les cordes vocales se détendent, et d'élévation à mesure qu'elles se tendent ; on produit le même effet sur eux, la tension des cordes demeurant le même, tant par une impulsion plus forte donnée au souffle, que par la compression de l'isthme inférieur de la glotte. Les sons de fausset augmentent de gravité par un souffle plus fort et par une tension plus considérable des cordes vocales. Lorsque ces dernières ont un certain degré de tension, il n'y a plus possibilité de faire sortir des sons de poitrine. Comme le son de poitrine qu'on obtient sur le larynx détaché du corps et dont les cordes vocales sont détendues jusqu'à un degré déterminé, en maintenant la force du souffle aussi uniforme que possible, est déjà beaucoup plus grave que celui de fausset, et qu'il ne se rapproche de lui que par l'effet ou de la compression de l'isthme inférieur de la glotte, ou d'une force plus grande donnée au souffle, on s'explique sans peine pourquoi, lorsqu'on est arrivé à la limite des sons de poitrine, il est souvent difficile, en changeant de registre, de rencontrer le son de fausset juste.

Comme les sons de poitrine et de fausset sont possibles, sur un larynx détaché du corps, sans voile du palais, sans ventricules de Morgagni, et sans ligamens supérieurs de la glotte, toutes ces parties doivent être mises de côté quand on veut donner la théorie de ces deux sortes de voix. Les piliers du voile du palais se rapprochent bien toujours d'autant plus qu'on chante plus haut en fausset; mais ils commencent à se rapprocher beaucoup dès les sons de poitrine élevés, et le rapprochement est ici tout aussi considérable que dans les sons correspondans de fausset. Le doigt est ce qu'il y a de mieux pour s'en convaincre. Il n'y a que les sons qui caractérisent l'exscréation et le ronflement qui soient de véritables sons du voile du palais. Si les piliers de ce voile étaient la cause des sons de fausset, on ne manquerait pas, en posant le doigt dessus, de rendre ces derniers plus aigus, ce qui n'arrive point. Le rapprochement des piliers du voile palatin et la rétraction de la luette, dans les sons aigus, paraissent n'être qu'un simple mouvement associé, occasioné par les efforts des muscles du larynx, comme il arrive souvent à un muscle de se contracter involontairement lorsqu'un autre agit en vertu des ordres de la volonté. Si les piliers du voile du palais avaient un usage quelconque relativement aux sons de poitrine élevés et aux sons de fausset, ce ne pourrait guère être que celui d'accroître la résonnance par leur tension. On peut considérer les sons de fausset comme sons flûtés des sons de poitrine en ce sens que, pour les produire, des parties aliquotes, non de la longueur, mais de la largeur des cordes vocales entrent en vibration, pendant que les autres sont simplement distendues par l'air. Dans les sons de poitrine, les vibrations des cordes vocales ne sont pas plus longues, mais elles ont lieu dans toute la largeur des cordes, et sont accompagnées de la résonnance de la membrane de l'isthme inférieur de la glotte.

4. *Timbre particulier de la voix. Voix nasonnante.*

Ici se range le timbre particulier de voix qui appartient à chaque homme. Ce timbre dépend manifestement de la forme des voies aëriennes, ainsi que des membranes et de leur résonnance, puisqu'on peut l'imiter; car il y a des hommes qui copient parfaitement la voix des personnes les plus diverses.

Ici encore doit se ranger le nasonnement de la voix. Biot l'explique de la manière suivante. Dans la production habituelle de la voix, le voile du palais s'applique sur l'ouverture postérieure des fosses nasales, et la ferme, de sorte que l'air sort seulement par la bouche; mais, en faisant un léger effort pour pousser l'air dans les fosses nasales, on empêche l'application du voile palatin; le trou reste ouvert, le son sort par le nez et la bouche à la fois, et l'on parle du nez. Je ne puis admettre cette explication du célèbre physicien. Car, précisément dans le mode ordinaire de production de la voix, les orifices postérieurs des fosses nasales sont ouverts, et la voix retentit à la fois dans le canal oral et dans le canal nasal. Lorsqu'on veut nasonner, on y parvient de deux manières. 1° En bouchant les narines, on peut tout aussi bien parler comme d'habitude si l'isthme du gosier reste ouvert, ou parler du nez si les piliers du voile palatin se rapprochent l'un de l'autre; dans ce dernier cas, le larynx remonte beaucoup plus haut qu'il ne le fait dans la voix ordinaire, en rendant le même son. L'obstruction du nez par des mucosités agit de même que l'obturation des narines; mais ni l'une ni l'autre n'est capable à elle seule de produire le nasonnement. Quand on parle du nez, la cavité nasale devient une chambre résonnante séparée. 2° On peut aussi donner lieu à la résonnance nasale de la voix du larynx en laissant les narines ouvertes, et ouvrant ou fermant la bouche; dans ce cas, le larynx se soulève aussi beaucoup, l'isthme du gosier se rétrécit, le dos de la langue se rapproche du palais ou s'y applique, l'air

passe seulement entre les piliers resserrés du voile palatin, et il acquiert la résonnance de la cavité nasale, sans celle de la cavité orale.

La voix des personnes avancées en âge perd de son timbre, de son assurance et de son étendue : le timbre est changé par l'ossification des cartilages du larynx et les changemens des cordes vocales; l'assurance l'est par la diminution de l'empire des nerfs sur les muscles, qui, ici comme partout ailleurs, a pour résultat un mouvement tremblottant ; ces deux causes réunies rendent la voix des vieillards sans éclat, sans fermate, chevrotante et faible.

5. *Force de la voix.*

La force de la voix dépend en partie de l'aptitude des cordes vocales à vibrer, en partie de celle des membranes et cartilages du larynx, des parois de la poitrine, des poumons, de la cavité orale, de la cavité nasale et des sinus du nez, à résonner. Dans ces deux aptitudes, la première est diminuée ou abolie par l'inflammation et la suppuration de la membrane muqueuse du larynx, par une sécrétion trop abondante de mucosités, par l'œdème de la glotte, etc. La résonnance de la membrane pulmonaire est diminuée, et conséquemment la voix affaiblie, dans la consomption des poumons. C'est à la capacité plus grande de la poitrine de l'homme qu'il faut aussi rapporter en partie la force plus considérable de sa voix. Chez plusieurs espèces de Singes, il existe des membranes résonnantes accessoires, des sacs laryngiens, ou même de vastes dilatations du cartilage thyroïde et de l'hyoïde, comme chez les Alouattes.

6. *Accroissement et diminution de la force des sons.*

Il résulte des observations faites par Liscovius, Lehfeldt et moi, que, toutes choses égales d'ailleurs, l'acuité des sons augmente quand le souffle est plus fort. Les sons de poitrine

montent et les sons de fausset également. J'ai fait ces expériences à l'aide d'une tension déterminée que je mesurais avec des poids, et j'ai trouvé que l'élévation du son peut avoir lieu par toutes les nuances entre les semi-tons, de manière que le phénomène ne tient pas à la production de nœuds de vibration, qu'on devrait d'ailleurs voir, s'il s'en formait, puisque les vibrations des cordes vocales sont si prononcées. L'élévation possible dépasse une quinte, d'après les expériences. Il suit de là qu'un son de l'organe vocal ne pent pas être renforcé par la seule force plus grande du souffle, et que pour qu'un son conserve sa valeur musicale, il faut que la force du souffle demeure parfaitement uniforme. Cette propriété de l'organe vocal lui est commune avec plusieurs instrumens de musique. Les sons des anches n'ont point de limites déterminées; en soufflant plus fort, le son vibre dans les tuyaux couverts suivant la progression des nombres 1, 3, 5, etc., et dans les tuyaux ouverts, suivant celle des nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, etc. J'ai fait voir que, dans de petits sifflets de deux pouces et moins, l'élévation parcourt même successivement les intervalles de 1 à 2, et que l'accroissement successif du souffle finit par rendre les sons criards. Les sons des anches peuvent être élevés successivement de plusieurs tons par une impulsion plus forte donnée au vent. Cette élévation est insensible avec les languettes métalliques fortes; je ne l'ai observée que quand je me servais de languettes minces, en soufflant très-fort. Lorsque l'on souffle faiblement sur des languettes métalliques fortes, le son est également un peu plus élevé que quand on souffle fort, ainsi qu'il arrive à une corde faiblement attaquée, comme l'a fait voir G. Weber. Cet effet tient vraisemblablement à ce que, quand on souffle doucement, l'extrémité de la languette voisine du point d'attache, ne vibre pas, tandis qu'elle entre en vibration lorsque le souffle est fort. Il faut bien distinguer l'élévation dont il s'agit ici de celle que j'ai observée sur les languettes membraneuses et la

trompette des enfans. Le défaut qu'ont les anches de donner des sons qui manquent d'uniformité, puisqu'ils changent selon la force du souffle, les rend instrumens incomplets, en ce qu'ils n'admettent ni forte, ni piano, en ce qu'ils ne permettent ni de renfler ni de diminuer les sons. L'orgue, le plus riche de tous les instrumens, est fort incomplet sous ce point de vue. Ce vice est moins marqué dans les anches à languettes; le son de celles qui ont une forte languette métallique peut se renfler sans que la petite élévation à laquelle donne lieu le souffle faible soit appréciable pour une oreille non exercée; cependant elle n'en est pas moins une cause de confusion. G. Weber a découvert le moyen de remédier à cet inconvénient; si la languette est proportionnée à la longueur du corps de tuyau rigoureusement mesurée pour son son fondamental, lorsqu'on souffle avec force, la colonne d'air du tuyau élève son son, et la languette métallique abaisse le sien; ces deux effets inverses se compensent de sorte que les anches ainsi construites par Weber permettent de renfler et d'affaiblir le son, sans que la valeur musicale en soit altérée. Un système d'anches semblables constitue un des instrumens de musique les plus parfaits. Ce principe n'est point applicable aux anches à languette membraneuse, parce que leurs sons, comme ceux de la trompette d'enfant à languette métallique très-mince, s'élèvent quand on souffle plus fort. On ne doit donc pas s'attendre à rencontrer une disposition analogue dans l'organe vocal de l'homme. D'ailleurs, la compensation par la longueur du corps du tuyau, exigerait que celui-ci variât beaucoup en raison de la diversité des sons; or, dans l'organe vocal de l'homme, il ne peut varier que fort peu, tout au plus d'un pouce, par l'élévation et l'abaissement du larynx. Comme la voix humaine a le pouvoir de renfler et d'affaiblir chaque son, depuis le pianissimo jusqu'au fortissimo, il faut que la compensation y soit établie d'une autre manière. Or elle est évidemment opérée par le changement de

la tension des cordes vocales. Un souffle plus fort élève le son jusqu'à une quinte, en le rendant plus fort; la diminution de la tension peut, au contraire, sur de bons larynx, l'abaisser de deux octaves, en passant successivement par toutes les nuances. Ainsi, quand un son passe du piano au forte, la tension des cordes vocales doit diminuer, par l'affaiblissement de la contraction musculaire, dans la même proportion que le souffle acquiert plus de force. L'inverse a lieu quand le son s'affaiblit. L'analogie des tuyaux à anche avec les languettes membraneuses, et les expériences que j'ai faites sur les sons de poitrine, montrent aussi que le rétrécissement de l'isthme inférieur de la glotte par le muscle thyro-aryténoïdien, peut contribuer à la compensation, dans le passage au piano; mais je doute que l'allongement du tuyau par la descente du larynx y concoure dans le passage au forte. Si, par la faiblesse du souffle, le son devient plus grave pour le piano, le rétrécissement de l'isthme inférieur de la glotte le rend plus aigu, et si la force plus considérable du souffle le rend plus aigu pour le forte, le rétrécissement de l'isthme doit le rendre plus grave. Le raccourcissement du tuyau par l'ascension du larynx peut difficilement contribuer à la compensation dans le passage au piano.

Une telle sorte de compensation exige un balancement exact des effets inverses, ce qui explique pourquoi les chanteurs même exercés ont tant de peine à renfler et affaiblir les sons, sans en altérer la valeur musicale, et pourquoi ceux qui n'en ont pas l'habitude ne peuvent l'essayer sans détonner aussitôt d'une manière ou d'une autre.

7. Pureté des sons.

La voix détonne après qu'on a chanté long-temps. Ce phénomène s'explique en partie par les petits changemens que les cordes vocales subissent à la suite de tensions répétées, mais plus encore par la fatigue des muscles, qui cessent d'obéir

complétement aux ordres de la volonté et d'exécuter les mouvemens convenables. On détonne encore parce qu'on a l'oreille fausse, ou à cause de la difficulté qu'on éprouve à observer le tempérament égal de nos échelles musicales. Dans les instrumens de musique, le tempérament est la plupart du temps assuré par l'accord; le chanteur doit tendre sans cesse à s'y conformer.

L'homme, comme l'Oiseau chanteur, apprend à son insu à exécuter les mouvemens musculaires d'où dépendent les changemens intérieurs de l'organe vocal nécessaires à la production de chaque son. Les sons poussés au hasard et les actions musculaires qui ont lieu à cette occasion, s'associent ensemble et sont tout disposés plus tard à s'appeler réciproquement, lorsqu'il s'agit d'imiter une mélodie. Dans l'étude méthodique du chant, à l'association des sons qu'on entend et des mouvemens musculaires propres à les faire sortir, se joint encore celle de ces sons avec les signes qui les représentent. Pour réussir dans cette étude, et pour donner à chaque son sa valeur pure, il faut une oreille juste; car une oreille fausse peut bien se trouver associée à une voix belle et étendue, mais elle ne permet pas d'en tirer parti pour le chant.

8. *Perfection de l'instrument vocal de l'homme.*

En étudiant la voix de l'homme, on est frappé de l'art infini avec lequel est construit l'organe qui la produit. Nul instrument de musique n'est exactement comparable à celui-là; car les orgues et les clavecins, malgré leurs ressources immenses, sont imparfaits sous d'autres rapports. Quelques uns de ces instrumens, comme les tuyaux à bouche, ne permettent pas de monter du piano au forte; dans d'autres, comme tous ceux dont on joue par percussion, il n'y a pas moyen de soutenir le son. L'orgue a deux registres, celui des tuyaux à bouche et celui des tuyaux à anche: sous ce point de vue, il ressemble à la voix humaine, avec ses registres de poitrine et de faus-

ser. Mais aucun de ces instrumens ne réunit tous les avantages, comme la voix de l'homme. Si l'organe vocal appartient à la classe des instrumens à anche, et si ces instrumens, lorsqu'on les a réunis en un système de sifflets compensés, sont (avec le violon) les plus parfaits de tous, cependant l'organe vocal a sur eux l'avantage de pouvoir donner tous les sons de l'échelle musicale et toutes leurs nuances avec un seul tuyau à bouche, tandis que les plus parfaits des instrumens à anche exigent un tuyau à part pour chaque son. On pourrait imiter jusqu'à un certain point cet organe en adaptant à un tuyau à bouche un appareil qui ne fût pas trop difficile à faire jouer, et qui permît de varier à volonté la tension des rubans élastiques; mais les sons d'un pareil instrument, pour lequel, si l'on voulait le rendre durable, il faudrait n'employer que des rubans élastiques secs, n'imiterait pas les sons roulans et éclatans du tissu animal élastique mou, et serait toujours très-difficile à manœuvrer.

E. *Compensation des forces physiques dans l'organe vocal de l'homme* (1).

Par compensation, on entend, en général, dans les instrumens de musique, toute disposition au moyen de laquelle une certaine étendue des qualités de l'instrument nécessaire pour la production d'un son donné, est rendue inutile par un changement apporté aux circonstances qui les commandaient. La longueur d'une corde nécessaire pour produire un son déterminé se compense par la détente de cette corde, qu'on rend en même temps moins longue. La longueur de colonne d'air nécessaire pour qu'un sifflet donne son son fondamental,

(1) Cet article ne fait point partie du *Traité de physiologie* : il a été publié par Muller postérieurement; mais on a cru nécessaire de le joindre aussi, comme complément de la doctrine, et bien qu'il résulte de là quelques répétitions.

peut être compensée par les parois membraneuses d'un sifflet plus court. Le son d'un sifflet membraneux peut, d'après Savart, être de plus d'une octave plus grave que celui d'un sifflet à parois rigides : la flexibilité des parois compense donc la longueur de la colonne d'air de l'instrument. J'ai reconnu un mode analogue de compensation dans les sifflets couverts, suivant la matière du couvercle. On sait que le son fondamental d'un sifflet bouché à l'extrémité est *ut*$_3$; mais si, au lieu d'un bouchon, on se sert d'une membrane peu tendue, le son fondamental, celui qu'on obtient avec le plus faible souffle possible, devient plus grave d'une tierce à une quinte : si la membrane est tendue davantage, le son s'élève, et quand la membrane est portée au plus haut degré de tension, elle agit comme un bouchon solide. Ici nous avons un exemple qui nous montre précisément l'inverse de la compensation dans les tuyaux à anche. Le son d'une languette est abaissé par la vibration simultanée d'une colonne d'air; dans ce cas, le son de la colonne d'air est abaissé par les vibrations simultanées d'une plaque membraneuse, et l'abaissement est d'autant plus grand, que la membrane est plus lâche. D'après les observations de Biot et Hamel, on peut abaisser le son fondamental des sifflets en agrandissant l'embouchure. La grandeur de cette dernière compense donc la longueur du tuyau. On peut, en outre, comme je l'ai observé, abaisser le son fondamental d'un sifflet en couvrant l'embouchure, de sorte que la couverture de cette ouverture compense aussi la longueur de la colonne d'air. Les sons que l'on obtient de cette manière ne sont pas seulement les harmoniques, comme dans le cas d'agrandissement de l'embouchure; mais ce sont tous les intervalles imaginables jusqu'à une certaine limite, et le son devient d'autant plus grave qu'on abaisse davantage le toit vers l'ouverture. Dans les tuyaux d'anche à languette membraneuse, la longueur et la tension des rubans se compensent en sens inverses, et dans tous les instrumens à anche,

la longueur ou la tension de l'anche est compensée par l'addition d'une colonne d'air simultanément vibrante, qui rend le son plus grave qu'il ne le serait d'après la tension ou la longueur de l'anche. Le rétrécissement du commencement ou de la fin du tuyau ajouté abaisse ou élève le son des tuyaux à anches; dans certaines conditions; ces circonstances établissent donc aussi une compensation.

Cependant, ce qu'il y a de plus remarquable dans tous les instrumens de musique où l'air contribue à l'effet produit, c'est le changement que les sons éprouvent d'après la force des chocs que donne l'air, et la compensation d'une grandeur par l'intensité du choc. Dans les instrumens qu'on met en mouvement par le pincement avec le doigt ou par l'action d'un archet, ce changement n'existe presque pas. Quant au changement des sons des sifflets par la force du souffle, je ne parle point de leur élévation bien connue aux sons harmoniques, car elle peut s'expliquer par la division de la colonne d'air en parties aliquotes, mais d'une élévation successive par tous les intervalles imaginables, jusqu'à une certaine limite, élévation que j'ai observée dans de petits sifflets ayant deux pouces et un pouce de long. La vitesse du courant d'air, ou la force du choc, a donc une influence manifeste sur la rapidité des vibrations de l'air dans le sifflet. Mais les vibrations d'une languette sont surtout faciles à changer par le courant d'air. Ainsi, par exemple, quand une languette métallique est assez mince proportionnellement au courant d'air qui la meut, comme celle de la trompette des enfans, le son, en augmentant le souffle, s'élève sans intervalles jusqu'à une octave et demie. Avec des languettes en caoutchouc, le courant d'air des poumons peut élever le son de quelques tons, jusqu'à une quinte. Ici donc la tension est compensée par la force de l'impulsion, ou la vitesse de vibration opérée par la tension est compensée par celle que le choc de l'air communique aux rubans.

Mais on désigne encore sous le nom de compensation une disposition des instrumens de musique qui fait qu'au lieu de changer leur son d'après la force du choc, ils le maintiennent, au contraire, à la même hauteur, quelque varié que puisse être ce choc. W. Weber a traité en ce sens de la compensation des tuyaux d'anche, et il a construit un tuyau d'anche compensé dont le son conserve la même pureté, malgré la force différente du souffle pour le piano et le forte. C'est cette sorte de compensation que je vais examiner dans l'organe vocal de l'homme.

Lorsqu'on souffle faiblement un tuyau d'anche à languette métallique forte, le son est un peu moins élevé qué quand on souffle fort. Il s'agissait donc, pour pouvoir renfler un son sur un tuyau à anche, de trouver un moyen qui compensât l'abaissement de ce son par la force du souffle. Weber l'a découvert dans la colonne d'air qui vibre simultanément avec l'anche. La colonne d'air du tuyau à anche élève effectivement son son lorsqu'on souffle fort, tandis que la forte languette métallique abaisse le sien. Les deux effets se compensent, de sorte qu'il devient possible, au moyen d'une certaine longueur de la colonne d'air covibrante, longueur que Weber a déterminée, de renfler et d'affaiblir un son sans altérer le moins du monde sa pureté et sa valeur dans l'échelle musicale.

Les faits découverts par Weber sont parfaitement exacts pour une force donnée des languettes et pour une force déterminée du courant d'air, c'est-à-dire qu'ils le sont dans certaines limites. Mais il y a une certaine force du courant d'air sous l'influence de laquelle, à ce qu'il paraît, toute anche doit élever son son, et cela en raison directe de l'accroissement de la force du courant ou de sa densité. Cet effet de la part du vent qui sort des organes respiratoires de l'homme, s'observe, comme je l'ai déjà dit, sur les languettes métalliques très-minces, telles que celles de la trompette des en-

fans, dont, par la force du souffle, on peut élever le son d'une octave et demie successivement et sans intervalles. Dans les languettes métalliques qui ont un peu plus de force, celles, par exemple, de l'harmonica à bouche, la force du souffle des poumons réussit moins à élever le son; mais elle le fait cependant assez encore pour qu'on demeure convaincu de la généralité du phénomène. On peut donc conclure que, même pour les languettes métalliques plus fortes, il y a également une certaine force du courant d'air, quelle qu'elle soit, sous l'influence de laquelle elles doivent élever un son, comme le font les languettes les plus faibles, et l'élever d'autant plus que le choc acquiert plus d'intensité. Ici il faudrait une compensation d'un autre genre que celle dont Weber s'est servi. Comme les fortes languettes métalliques de ce musicien donnent des sons un peu plus élevés quand le souffle est faible que quand il est fort, on serait tenté de croire, au premier aperçu, qu'il y a là une contradiction inexplicable avec les faits que j'ai rapportés en dernier lieu; mais la contradiction disparaît en admettant, ce qui est vraisemblable, que l'extrémité fixée de la languette ne vibre point lorsqu'on souffle faiblement, tandis qu'elle entre aussi en vibration quand le souffle est fort.

Quoi qu'il en soit, ce qu'il y a de certain, c'est que toutes les langnettes membraneuses élèvent, quand le souffle devient plns fort, le son qui leur est assigné par leur tension et leur longuenr. Le fait est constant pour les rubans de caoutchouc et pour les cordes vocales du larynx humain. L'élévation du son qu'on peut obtenir sur des larynx artificiels à rubans de caoutchouc par la force du souffle des poumons, va jusqu'à une tierce, et plus, sans intervalles, et dans un larynx à tension déterminée, produite par des poids, elle va jusqu'à une quinte, même jusqu'à une octave. Ainsi pour qu'un son du larynx humain conserve sa valenr musicale, et demeure le même au piano comme au fortissimo, c'est-à-dire sous l'in-

fluence du plus faible et du plus fort souffle, il faut, puisque la force du souffle est une condition d'élévation, qu'il y ait, en compensation, des conditions d'abaissement, faisant équilibre aux autres. Mais cet effet ne peut guère être produit que par la détente des cordes vocales. Que, par exemple, celles-ci donnent à la tension 4 le son *sol*$_3$, et à la tension 2 le sol *ut*$_3$, sous l'influence du souffle le plus faible, à la tension 2, si le souffle devient plus fort, elles redonneront ou conserveront le son *sol*$_3$. En un mot, pour maintenir un son dans le crescendo, il faut que la tension diminue à proportion que la force du souffle augmente : l'inverse a lieu pour le decrescendo. J'ai déjà précédemment exposé et discuté ce mode de compensation ; mais on manquait d'expériences qui déterminassent d'une manière sûre et numériquement la proportion entre la tension décroissante et la force croissante du souffle. C'est pourquoi j'en ai entrepris une série ayant pour but d'établir cette proportion.

Je me proposais d'abord d'employer un soufflet, au lieu de la bouche, pour rendre les sons soutenus et mesurer la force du vent. Il eût été facile ainsi de déterminer la force du souffle ou de la pression, par les poids du soufflet, et plus sûrement encore la densité de l'air qui faisait mouvoir les cordes vocales, par le manomètre ordinaire des soufflets, tube à deux branches, dont la partie inférieure est remplie de mercure ou d'eau, et où la pression de l'air fourni par le soufflet agit sur le liquide de l'une des branches, en sorte que la différence de niveau de ce liquide dans les deux branches, indique la tension de l'air dans le soufflet. Mais en essayant d'appliquer cet appareil aux experiences sur la voix humaine, je rencontrai de grandes difficultés, et je ne tardai pas à reconnaître qu'il était indispensable d'en revenir, comme auparavant, à ma propre respiration. En effet, lorsqu'on place sur le tuyau du soufflet un larynx préparé suivant le procédé que j'ai fait connaître, on obtient d'abord de bons sons, qui peuvent être bien

pleins, à cause de la résonnance du soufflet; mais ces sons ne tardent pas à diminuer, et à s'éteindre tout-à-fait, ou bien ils passent à l'aigu, quoique la pression du soufflet demeure la même. La voix ne recommence plus à parler qu'après qu'on a bien humecté les cordes vocales en dedans et en dehors. Car l'air du soufflet dessèche promptement l'isthme inférieur de la glotte et le bord des cordes vocales, ce qui explique et la cessation du son et son élévation progressive. En soufflant avec les poumons, au contraire, on fait arriver un air humide et presque à la température du corps humain, de sorte que les cordes vocales ne se dessèchent point, et qu'on évite tous les inconvéniens dont je viens de parler. D'ailleurs, l'air qu'on emploie ainsi, est celui-là même qui sert à la voix de l'organe vivant; il ne s'agit que de soumettre la pression de cet air au contrôle, comme le degré de tension ou de détente des cordes vocales l'est dans les autres expériences dont j'ai parlé précédemment.

On y parvient sans peine à l'aide du manomètre ordinaire du soufflet mis en communication avec le porte-vent. Cagniard La Tour a déjà mesuré de cette manière la tension de l'air qui est nécessaire pour souffler la clarinette, et, chez un homme vivant qui portait une ouverture à la trachée-artère, la tension que l'air doit avoir dans ce conduit pour que la voix parle. Il s'est servi aussi d'un tube dont l'un des bouts communiquait avec un porte-vent inséré à l'embouchure d'une clarinette, et dont l'autre bout plongeait dans un vase plein d'eau : il concluait la pression de la profondeur à laquelle il fallait enfoncer le tube pour empêcher l'air de s'échapper. Cette pression, pour la clarinette, était égale à une colonne d'eau de trente centimètres. Chez l'homme dont la trachée-artère présentait une ouverture, la tension de l'air dans ce conduit, quand l'individu parlait, était égale à une colonne d'eau de seize centimètres.

J'ai employé le manomètre ordinaire du soufflet, dont l'une

des branches était coudée à son sommet, afin qu'on pût l'unir solidement avec la partie latérale d'un porte-vent adapté à l'extrémité trachéale du larynx. C'est aussi l'instrument dont Poiseuille s'est servi pour mesurer la pression du sang dans les artères et les veines, et auquel il a donné le nom d'hémato-dynamomètre. La différence de hauteur du liquide dans les branches, ou la somme de sa chute et de son ascension dans les branches opposées, donne l'expression statique de la pression. Au premier abord, les colonnes de mercure ou d'eau éprouvent ordinairement une oscillation considérable; mais bientôt la pression se fixe, et on peut l'évaluer avec une certitude suffisante jusqu'à un quart ou même un huitième de centimètre; vouloir y mettre plus de précision, et compter les millimètres, exposerait à des erreurs, à cause des oscillations. On facilite singulièrement la lecture en se servant, au lieu de mercure, d'eau, qui donne des résultats 13,6 fois plus grands; mais les oscillations sont bien plus étendues aussi. Lorsqu'on est arrivé par le souffle à une pression aussi uniforme que possible, on peut fixer le liquide en posant le doigt sur le tube ouvert, et alors on charge une autre personne de lire sur l'échelle.

Tout étant disposé, il faut se rappeler quelle est la proportion de la tension suivant laquelle les sons de l'organe vocal augmentent de hauteur lorsqu'on souffle le plus faiblement possible. Je prendrai pour point de départ les deux expériences que j'ai rapportées précédemment, et dans lesquelles la tension était opérée par des poids suspendus perpendiculairement à la partie antérieure et supérieure du cartilage thyroïde, le larynx lui-même étant fixé dans une situation verticale.

Il résulte de ces deux expériences que, dans les sons graves, un poids d'un demi-loth suffit pour élever le ton d'un semi-ton, que, la tension croissant, il finit par falloir trois loth pour produire un changement d'un semi-ton, et qu'un poids d'une

demi-livre à une livre suffit pour produire les sons dans l'étendue de deux octaves. Mais j'ai expérimenté aussi sur des larynx dans lesquels ces deux octaves n'exigeaient qu'un poids d'une demi-livre. Quand les cordes vocales sont tendues par une corde dirigée dans le même sens qu'elles et passant sur une poulie, il faut un poids plus fort pour déterminer un même effet. Le même larynx exigeait, pour donner les deux octaves, depuis un quart de loth jusqu'à 15 loth, avec la traction perpendiculaire exercée sur le cartilage thyroïde, et jusqu'à 25 loth avec la tension horizontale des cordes vocales. Je cherchai ensuite à savoir quelle est la pression de l'air à laquelle les cordes vocales commencent à faire entendre leur son fondamental, et s'il en faut une plus forte quand les cordes sont plus tendues, c'est-à-dire pour produire les sons aigus. Des expériences faites à ce sujet, il résulta qu'à l'égard des sons aigus, une pression de l'air équivalente à une colonne de mercure d'un quart de centimètre, ou à une colonne d'eau de 34 millimètres, parfois même d'un centimètre et demi, suffit pour produire un son léger; ce qui s'applique tant aux sons de poitrine qu'à ceux de fausset. En soufflant aussi fort qu'il m'était possible, de manière néanmoins à ce qu'il sortît encore un son, la pression n'était la plupart du temps égale qu'à une colonne de mercure d'un, deux ou trois centimètres et demi. Cette quantité est fort inférieure à celle que Cagniard La Tour a obtenue sur le vivant, où la pression dans la trachée-artère, pendant la phonation, équivalait à une colonne d'eau de seize centimètres. La différence me semble tenir en grande partie à ce que l'homme sur lequel Cagniard a fait ses observations avait été atteint d'une maladie des organes vocaux, pour laquelle il avait fallu recourir à la bronchotomie. On sait qu'il suffit de la moindre pression d'air pour que nous donnions des sons de voix, et cette remarque s'accorde très-bien avec les expériences que j'ai faites sur des larynx, à l'aide du manomètre. Mais si le fortissimo possible

ne sortit, dans plusieurs expériences, qu'à huit, douze ou quatorze centimètres, je l'attribue à ce que, chez l'homme vivant, l'ouverture du porte-vent dans la glotte peut être considérablement rétrécie par la compression latérale qu'exercent les muscles thyro-aryténoïdiens; on peut, dans les larynx morts, suppléer l'action de ces muscles à l'aide d'une compression exercée latéralement par les cordes vocales, ce qui rend possible une tension bien plus forte de l'air.

Je voulus aussi savoir si la tension de l'air reste la même lorsqu'on donne le piano des sons graves et le piano des sons aigus avec une tension plus forte des cordes vocales, c'est-à-dire si le son le plus faible de ces cordes, soumises à une plus grande tension, est possible quand la tension de l'air demeure la même, ou exige qu'elle croisse. L'expérience suivante nous éclaire à cet égard. Le larynx humain dont je me suis servi donnait, sans poids dans le plateau de balance, qui lui-même pesait 0, 24 loth, donnait, dis-je, fa_3 à une pression de l'air égalant une colonne d'eau de quatre centimètres.

	Poids pour la tension des cordes.	Sons produits en soufflant le plus doucement possible.	Centimètres de la colonne d'eau.
Poids de la balance	1/4 loth	*fa* fausset	4
	3/4	*sol* »	6
	1 1/4	*la* »	8
	1 3/4	*si* »	9
	2 1/4	*ut* »	—10
	3 1/4	*re* »	+10
	4 3/4	*mi* »	13
	6 3/4	*fa* »	13
	7 3/4	*sol* »	13
	» 1/4	*la* »	16

D'après cela, dans le larynx mort, le souffle le plus léger possible exige, quand la tension des cordes est plus considérable, et par conséquent pour les sons aigus, une tension plus forte de l'air que pour les sons graves ; et quand les cordes vocales sont moins tendues, la tension était deux à trois fois aussi forte lorsque les sons s'élevaient de toute une octave.

Il s'agissait encore de savoir suivant quelle proportion de la pression de l'air les sons croissent, la tension des cordes vocales restant la même. Les expériences suivantes ont été faites à ce sujet sur des larynx d'hommes.

	TENSION.	TENSION DE L'AIR. COLONNE DE MERCURE.	SONS.
1re expér.	3/4 loth.	1/4 centim.	*ré♯*$_2$ fausset.
«	3/4	1/3	*mi*$_2$ »
«	3/4	1/2	*fa♯*$_2$ »
«	3/4	3/4	*sol♯*$_2$ »
2e expér.	3/4	1/4	*si*$_2$ »
«	3/4	—1/2	*ut*$_3$ »
«	3/4	1/2	*ré*$_3$ »
«	3/4	3/4	*mi*$_3$ »
«	3/4	—1	*fa*$_3$ »
«	3/4	1	*sol*$_3$ »
«	3/4	5/4	*la*$_3$ »
«	3/4	2	*si*$_3$ »
3e expér.	1/4	1/4	*si*$_2$ »
«	1/4	1/3	*ut*$_3$ »
«	1/4	1/2	*ré*$_3$ »
«	1/4	3/4	*mi*$_3$ »
«	1/4	1	*sol*$_3$ »
«	1/4	1 1/2	*la*$_3$ »
»	1/4	2	*si*$_3$ »
4e expér.	1/4	1/3	*ut*$_3$ »
«	1/4	1	*sol*$_3$ »
«	1/4	2	*ut*$_4$ »
«	1/4	3	*mi*$_4$ »
«	1/4	3 1/2	*fa*$_4$ »
5e expér.	2 1/4	1/2	*sol*$_3$ »
	2 1/4	3/4	*la*$_3$ »
	2 1/4	1	*si*$_3$ »
	2 1/4	1 1/2	*ré*$_4$ »

	TENSION.	TENSION DE L'AIR. COLONNE DE MERCURE.	SONS.
	2 1/4 loth.	2 centim.	mi_4 fausset.
	2 1/4	2 1/2	fa_4 »
	2 1/4	3 1/2	sol_4 »
6e expér.	3 1/4	1/2	fa_3 »
	3 1/4	1	sol_3 »
	3 1/4	1 1/4	si_3 »
	3 1/4	—2	ut_4 »
	3 1/4	2	$ré_4$ »
	3 1/4	2 1/2	mi_4 »
	3 1/4	2 3/4	fa_4 »
7e expér.	10 1/4	2 1/2	la_4 »
	10 1/4	+4	si_4 »
	10 1/4	+6	ut_5 »
	10 1/4	8	$ré_5$ »
8e expér.	1/4	1/4	la_2 »
	1/4	1/3	si_2 »
	1/4	1/2	ut_3 »
	1/4	1/2	$ré_3$ »
	1/4	3/4	ut_3 «
9e expér.	1/4	1/4	$ré\#_3$ »
	1/4	1/3	mi_3 »
	1/4	1/2	fa_3 »
	1/4	+1/2	sol_3 »
	1/4	3/4	la_3 »
	1/4	1	si_3 »

Dans les expériences suivantes j'employai un manomètre divisé en pouces et lignes, et pour équivalent de la pression de l'air une colonne d'eau.

	TENSION.	COLONNE D'EAU DU MANOMÈTRE.		SONS.	
		Pouces.	Lignes.		
10ᵉ expér.	1/4	1	6	*sol*$_3$	fausset.
	1/4	1	8	*sol*♯$_3$	»
	1/4	2		*la*$_3$	»
	1/4	2	4	*la*♯$_3$	»
	1/4	2	8	*si*$_3$	»
	1/4	2	10	*ut*$_3$	»
	1/4	3	2	*ut*♯$_3$	»
	1/4	3	4	*ré*$_3$	»
	1/4	4		*ré*♯$_3$	»
	1/4	4	6	*mi*$_3$	»
	1/4	5	4	*fa*$_3$	»
	1/4	6	6	*fa*♯$_3$	»
	1/4	7	4	*sol*$_3$	»
	1/4	8		*sol*♯$_3$	»
11ᵉ expér.	1/2	2	6	*ut*♯$_3$	»
	1/2	3		*ré*$_3$	»
	1/2	3	6	*ré*♯$_3$	»
	1/2	4		*mi*$_3$	»
	1/2	4	6	*fa*$_3$	»
	1/2	5		*fa*♯$_3$	»
	1/2	6		*sol*$_3$	»
	1/2	7		*sol*♯$_3$	»
	1/2	8		*la*$_3$	»
	1/2	9		*la*♯$_3$	»
	1/2	10		*si*$_3$	»
	1/2	11		*ut*$_4$	»
	1/2	12	6	*ut*♯$_4$	»
12ᵉ expér.	2 1/4	2	8	*ré*♯$_3$	»
	2 1/4	3	2	*mi*$_3$	»
	2 1/4	4		*fa*$_3$	»
	2 1/4	4	10	*fa*♯$_3$	»
	2 1/4	6		*sol*$_3$	»
	2 1/4	7	4	*sol*♯$_3$	»

	TENSION.	COLONNE D'EAU DU MANOMÈTRE.		SONS.	
		Pouces.	Lignes.		
	2 1/4	8		*la*$_3$	»
«	2 1/4	8	10	*la*♯$_3$	»
	2 1/4	10		*si*$_3$	»
13ᵉ expér.	2 1/4	3		*fa*$_3$	»
	2 1/4	3	6	*fa*♯$_3$	»
	2 1/4	4		*sol*$_3$	»
«	2 1/4	4	8	*sol*♯$_3$	»
	2 1/4	6		*la*$_3$	»
	2 1/4	7		*la*♯$_3$	»
	2 1/4	9		*si*$_3$	»
	2 1/5	10		*ut*$_4$	»
«	2 1/4	12		*ut*♯$_4$	»
14ᵉ expér.	2	3		*fa*♯$_3$	»
	2	3	6	*sol*$_3$	»
«	2	5		*sol*♯$_3$	»
«	2	6		*la*$_3$	»
«	2	7		*la*♯$_3$	»
«	2	9		*si*$_3$	»
«	2	10	6	*ut*$_4$	»
«	2	11	6	*ut*♯$_4$	»
15ᵉ expér.	1/4	1	6	*la*$_3$	»
«	1/4	+2		*la*♯$_3$	»
«	1/4	2	6	*si*$_3$	»
«	1/4	+2	6	*ut*$_3$	»
«	1/4	3		*ut*♯$_3$	»
«	1/4	3	6	*ré*$_3$	»
«	1/4	4		*ré*♯$_3$	»
«	1/4	+4		*mi*$_3$	»
«	1/4	5		*fa*$_3$	»
«	1/4	6		*fa*♯$_3$	»
«	1/4	6	6	*sol*$_3$	»
«	1/4	7	6	*sol*♯$_3$	»
	1/4	8		*la*$_3$	»

Voix de poitrine, les cordes vocales étant comprimées latéralement.

TENSION.		COLONNE D'EAU DU MANOMÈTRE.		SONS.	
		Pouces.	Lignes.		
16ᵉ expér.	0	2		$fa\sharp_2$	voix de poitr.
		4	6	sol_2	»
		5	6	$sol\sharp_2$	»
		6		la_2	»
		7		si_2	»
		8	6	ut_3	»
		10		$ut\sharp_3$	»
		11		$ré_3$	»
		12		$ré\sharp_3$	»
17ᵉ expér.	0	3		ut_3	»
		9		sol_3	»
		14		ut_4	»

Ainsi, pour élever d'un ton entier le son fondamental des cordes vocales peu tendues, il faut, suivant les circonstances, dans beaucoup de cas, que la pression de l'air subisse une élévation correspondante de un à deux centimètres de la colonne d'eau, plus ou moins. La proportion marche avec assez d'uniformité. Les sons les plus élevés, produits par un souffle renforcé, sont les seuls qui, pour monter d'un ton entier, exigent que la tension s'accroisse davantage.

Pour élever à l'octave suivante le son fondamental des cordes vocales, il a fallu, à tension faible égale de celles-ci, que la pression fût huit fois plus forte dans les expériences 2 et 3, six fois dans la 4ᵉ, sept fois dans la 5ᵉ, cinq fois et

demie dans la 6e, cinq fois dans la 10e et la 11e, cinq fois et un tiers dans la 15e. On peut donc admettre qu'il faut une pression de l'air cinq, six et huit fois plus forte, pour qu'à égalité de faible tension des cordes vocales, le son s'élève de toute une octave par un souffle plus fort. Cette pression avait besoin d'être doublée à triplée pour élever le son d'une quarte ou d'une quinte. Quand les cordes vocales sont plus tendues, comme dans l'expérience 7, où elles l'étaient par un poids de dix loth et un quart, non seulement il faut une pression plus forte pour faire parler le souffle le plus faible, mais encore l'élévation du son en exige une bien plus intense que dans le cas de tension moins considérable, puisque, dans l'expérience 7, par exemple, l'élévation d'un ton entier exigea que la pression fût accrue de deux centimètres de hauteur du mercure ou de $2 \times 13,6$ de hauteur de l'eau du manomètre. Aussi une différence proportionnellement bien plus grande est-elle nécessaire pour avancer dans la série ascendante. La même chose arrive quand les cordes vocales sont très-fortement rapprochées l'une de l'autre, par les côtés, au moyen des branches d'une paire de pinces. Dans ce cas, par exemple, pour élever d'une quarte le son fondamental des cordes, la tension demeurant la même, il fallut que la pression de l'air, au lieu d'être doublée à triplée, fût quadruplée à quintuplée, comme on le verra dans l'expérience suivante.

J'ai remarqué en outre que la facilité d'élever le son par un faible accroissement de la pression de l'air atteint quelquefois sa limite à une certaine hauteur, et que pour élever ensuite le son d'un semi-ton seulement, il fallait augmenter la pression de l'air hors de toute proportion, comme dans l'exemple suivant :

SONS.	PRESSION DE L'AIR, colonne d'eau du manomètre.	
sol$_3$	2 pouces.	
sol♯$_3$	3	
la$_3$	4	
la♯$_3$	7	
si$_3$	8	tension égale.
ut$_4$	10	
ut♯$_4$	11 1/2	
ré$_4$	13 1/2	

Mais si je voulais passer de *ré* à *ré*♯, il fallait souffler avec un peu de force pour que la colonne d'eau montât jusqu'à 22 à 24 pouces et plus. Les causes de cette disproportion me sont demeurées inconnues. La limite dont je viens de parler varie beaucoup suivant les larynx ; il y en a qui permettent de monter proportionnellement jusqu'à une octave, et d'autres qui ne le permettent pas. On doit remarquer, en outre, que quand, dans ce cas, on accroissait la tension, de manière que le son fondamental devînt plus aigu, la limite de la progression proportionelle de l'élévation s'établissait d'autant plus tôt qu'on augmentait davantage la tension, comme il ressort des expériences suivantes, qui ont été faites sur le même larynx.

1 LOTH DE TENSION.		2 LOTH DE TENSION.		3 LOTH DE TENSION.		4 LOTH DE TENSION.		6 LOTH DE TENSION.		8 LOTH DE TENSION.	
Sons de poitrine.	Pression de l'air.	Sons.	Pression de l'air.	Sons.	Pression de l'air.	Sons.	Pression de l'air.	Sons.	Pression de l'air.	Sons.	Pression de l'air.
fa#$_3$	2 pouces d'eau.										
sol$_3$	3	*sol*$_3$	2								
sol#$_3$	5	*sol*#$_3$	4	*sol*#$_3$	2						
la$_3$	6	*la*$_3$	6	*la*$_3$	5	*la*$_3$	2				
la#$_3$	8	*la*#$_3$	7	*la*#$_3$	8	*la*#$_3$	5	*la*#$_3$	7		
si$_3$	9 1/2	*si*$_3$	8	*si*$_3$	8 1/2	*si*$_3$	7	*si*$_3$	8	*si*$_3$	6
ut$_3$	10	*ut*$_3$	10	*ut*$_3$	9 1/2	*ut*$_3$	8	*ut*$_3$	9	*ut*$_3$	8
ut#$_3$	11	*ut*#$_3$	12	*ut*#$_3$	13	*ut*#	10	*ut*#$_3$	10	*ut*#$_3$	10
re$_3$	12 1/2	*ré*$_3$	13			*ré*$_3$	13	*ré*$_3$	12	*ré*$_3$	12
re#$_3$	24	*ré*#$_3$	24								

Dans tous ces cas, il ne fut pas possible de franchir l'intervalle de *ré* à *ré*$\sharp_3$ sans porter la pression de l'air à 24 pouces et plus. Dans plusieurs autres, le saut eut lieu de la même manière. L'expérience suivante mérite d'être rapportée encore, comme terme de comparaison. Ainsi que dans la précédente, la voix de poitrine avait été déterminée par une pression latérale exercée sur les cordes vocales.

1/2 LOTH DE TENSION.	Press. de l'air.	3	5	6	8	11	14	Saut.
	Sons.	*la*$_3$	*si*$_3$	*ut*$_3$	*ut*$\sharp_3$	*ré*$_3$	*ré*$\sharp_3$	*mi*$_3$
1 LOTH DE TENSION.	Press. de l'air.		5	7	10	12	14	Saut.
	Sons.		*si*$_3$	*ut*$_3$	*ut*$\sharp_3$	*ré*$_3$	*ré*$\sharp_3$	*mi*$_3$
2 LOTH DE TENSION.	Press. de l'air.			6	8	11	14	Saut.
	Sons.			*ut*$_3$	*ut*$\sharp_3$	*ré*$_3$	*ré*$\sharp_3$	*mi*$_3$
4 LOTH DE TENSION.	Press. de l'air.					7	11	Saut.
	Sons.					*ré*$_3$	*ré*$\sharp_3$	*mi*$_3$

Je signale ce phénomène à l'attention pour éviter tout malentendu dans les expériences sur le larynx. Je ne puis l'expliquer autrement que par un saut d'un registre à un autre, du registre de la voix de poitrine à celui de la voix de fausset. Mais il prouve qu'en comparant les équivalens de la pression

de l'air et de la tension, on a un motif de plus pour exclure totalement les degrés élevés de tension et de pression.

Viennent maintenant les expériences sur la compensation de la détente des ligamens et de la pression de l'air pour obtenir le piano et le forte à une même élevation de son.

Si, en faisant ces expériences, on opère la tension des cordes vocales par une traction exercée de haut en bas sur le cartilage thyroïde et imitant l'action du muscle crico-thyroïdien, les poids nécessaires pour faire sortir un son donné n'expriment pas le degré de la tension des cordes vocales elles-mêmes, mais celui de la contraction du muscle crico-thyroïdien nécessaire pour produire ce son, et par conséquent lorsqu'on les compare à la pression de l'air, on n'obtient que le rapport entre celle-ci et l'action du muscle. Cette méthode de tendre les cordes vocales est celle qui leur procure la tension la plus uniforme, de manière qu'on devrait toujours faire ainsi les expériences : cependant il faut remarquer que le ligament crico-thyroïdien, qui possède l'élasticité au plus haut degré, agit de même que le muscle, que son action vient au secours de celui-ci quand il se contracte faiblement, mais que le ligament est mis hors de jeu quand le muscle se contracte avec énergie. Des poids, suspendus à un cordon, qu'on attache à l'angle du cartilage thyroïde, donnent donc exactement le quantum de contraction du muscle crico-thyroïdien qui est nécessaire pour des sons déterminés.

Pour mesurer la pression de l'air, je me suis servi tantôt d'un manomètre à mercure, tantôt d'un manomètre à eau, parce que les expériences ont été faites à des époques différentes. Je vais d'abord rapporter ces expériences une à une. La première colonne est destinée aux sons égaux quant à l'élévation, mais croissant en intensité : la seconde indique la quantité jusqu'à laquelle la pression de l'air doit être accrue ; la troisième énonce les poids de la tension, qui diminue à proportion que la pression de l'air augmente.

SON UNIFORME CROISSANT EN FORCE.		PRESSION CROISSANTE DE L'AIR. COLONNE DE MERCURE DE	TENSION DÉCROISSANTE DES CORDES VOCALES.
Piano	la_3	1/2 centimètre.	4 1/4 loth.
crescendo.	la_3	3/4	2 1/4
	la_3	1	1 1/4
	la_3	1 1/2	3/4
Forte	la_3	2	1/4
Piano	ut_4	3/4	6 1/4
	ut_4	+1	3 1/4
Forte	ut_4	—1 1/2	1 3/4
Piano	sol_3	— 1/2	4 1/4
	sol_3	+ 1/2	3 1/4
	sol_3	— 3/4	2 1/4
	sol_3	— 3/4	1 1/4
	sol_3	1	3/4
Forte	sol_3	1	1/4
Piano	mi_3	1/4	3/4
Forte	mi_3	1/2	1/4
Piano	$fa\sharp_3$	1/3	2 1/4
	$fa\sharp_3$	1/2	1 1/4
Forte	$fa\sharp_3$	3/4	1/4
Piano	$sol\sharp_3$	1/2	4 1/4
	$sol\sharp_3$	3/4	3 1/4
	$sol\sharp_3$	1	1 1/4
Forte	$sol\sharp_3$	+1	1/4
Piano	$sol\sharp_3$	1/2	4 1/4
	$sol\sharp_3$	— 3/4	2 1/4
	$sol\sharp_3$	3/4	1 1/4
Forte	$sol\sharp_3$	1	1/4
Piano	la_3	1/2	4 1/4
	la_3	+ 1/2	2 1/4
	la_3	1	1 1/4
	la_3	1	3/4
Forte	la_3	1 1/2	1/4

Dans les expériences suivantes, la force de la pression de l'air a été mesurée au moyen d'une colonne d'eau.

SON UNIFORME CROISSANT EN FORCE.			PRESSION CROISSANTE DE L'AIR. COLONNE D'EAU DE	TENSION DÉCROISSANTE DES CORDES VOCALES.
Piano		*si*$_2$	9 centim.	9/4 loth.
	crescendo.	*si*$_2$	11	5/4
		si$_2$	13	3/4
		si$_2$	15	2/4
Forte		*si*$_2$	17	1/4
Piano		*la*♯$_3$	8	9/4
		la♯$_3$	10	5/4
		la♯$_3$	13	3/4
Forte		*la*♯$_3$	14	1/4
Piano		*mi*$_3$	11	9/4
		mi$_3$	13	5/4
Forte		*mi*$_3$	14	3/4
Piano		*fa*$_3$	10	5/4
		fa$_3$	12 1/2	3/4
Forte		*fa*$_3$	14	2/4
Piano		*la*♯$_3$	11	9/4
		la♯$_3$	12	5/4
		la♯$_3$	13	3/4
Forte		*la*♯$_3$	15	2/4
Piano		*la*$_2$	8	9/4
		la$_2$	11	5/4
		la$_2$	13	3/4
Forte		*la*$_2$	14	2/4
Piano		*ré*$_3$	12	17/4
		ré$_3$	16	13/4
		ré$_3$	18	9/4
		ré$_3$	20	5/4
Forte		*ré*$_3$	22	3/4

SON UNIFORME CROISSANT EN FORCE.			PRESSION CROISSANTE DE L'AIR. COLONNE D'EAU DE	TENSION DÉCROISSANTE DES CORDES VOCALES.
Piano	crescendo.	*la*$_3$	9 centim.	9/4 loth.
		la$_3$	12	7/4
		la$_3$	13	5/4
Forte		*la*$_3$	14	3/4
Piano		*si*$_3$	8	9/4
		si$_3$	10	7/4
		si$_3$	12	5/4
		si$_3$	14	3/4
Forte		*si*$_3$	15	2/4
Piano		*mi*$_3$	11	5/4
		mi$_3$	12	3/4
Forte		*mi*$_3$	14	2/4
Piano		*fa*$_3$	10	5/4
		fa$_3$	13	3/4
Forte		*fa*$_3$	14	2/4
Piano		*la*$_3$	8	9/4
		la$_3$	10	5/4
		la$_3$	12	3/4
Forte		*ia*$_3$	14	1/4

On voit donc que la traction de haut en bas du cartilage thyroïde doit diminuer dans une proportion plus grande que la pression de l'air n'augmente, pour qu'un son soit fortifié, en conservant la même hauteur.

Quand la pression de l'air augmentait du double au quadruple, la traction agissant de la même manière que le muscle crico-thyroïdien devait s'accroître de quatre à huit et seize fois pour que le son restât à la même élévation. Dans la se-

conde expérience il fallut que, la pression de l'air montant de 8 à 14 ou de 4 à 7, la traction diminuât de 3 à 1 ; dans la troisième, la pression de l'air s'élevant de 8 à 14 ou de 4 à 7, la traction dut baisser de 9 à 1. Il n'y a que le rapport de la tension des cordes vocales elles-mêmes à la pression de l'air qui puisse donner une comparaison exacte. Les cordes vocales doivent être tirées, dans la direction de leur longueur, par un cordon qui passe sur une poulie. Cependant, comme l'attache du cartilage thyroïde au cartilage cricoïde met obstacle à la tension dans ce sens, il faut enlever avec précaution, sans léser la membrane muqueuse du larynx, le cartilage thyroïde tout entier, à l'exception de la partie antérieure, à laquelle s'attachent les cordes vocales. Il faut aussi enlever avec circonspection le ligament qui existe entre lui et le cartilage cricoïde. Enfin on peut encore enlever les muscles placés sur le côté des cordes vocales. On obtient ainsi une pièce sur laquelle la tension des cordes vocales peut être mesurée sans erreur au moyen d'un cordon qu'on attache au reste du cartilage thyroïde, immédiatement devant l'insertion des cordes, qu'on dirige dans le sens même de ces dernières, qu'on fait passer sur une poulie, et qu'on charge de poids. Pour que la tension ait lieu uniformément dans toute la largeur des cordes vocales, il est indispensable de prendre un larynx dont le cartilage thyroïde soit ossifié, afin que l'angle de ce cartilage auquel on fixe le cordon, ne cède point.

D'après l'analogie des ligamens de la glotte avec les cordes, on devrait croire que les sons croîtraient suivant la proportion des octaves, 1, 2, 4, 8, lorsque les forces tensives croîtraient elles-mêmes en raison de leurs carrés, 1, 4, 16, 64. Cependant, lorsqu'on porte la tension de 1 à 4, les sons restent fort au dessous de l'octave, de manière qu'au lieu de celle-ci, on obtient, la plupart du temps, la quarte, la quinte, la sixte, ou des sons intermédiaires. La cause de cette différence ne m'est pas connue : peut-être faut-il l'attribuer à ce que c'est

la pression de l'air qui fait parler les cordes vocales, ou à l'humidité de ces dernières, ou à ce qu'elles sont composées de nombreux trousseaux parallèles, qui se tendent inégalement. En quadruplant la plus faible tension des ligamens de la glotte, les sons ne montent que jusqu'à leur quarte et plus : si la tension était un peu plus forte, en la quadruplant, ils montent à leur quinte ; si elle était plus considérable encore, en les quadruplant, ils montent à leur sixte et plus. Cette différence dans l'élévation, suivant le degré de tension d'où l'on part, doit, sans doute, être attribuée à ce que, plus la tension devient forte, plus il faut de pression d'air pour faire sortir le son le plus faible ou le son fondamental des cordes vocales.

Il m'a paru intéressant de comparer, dans un même larynx, l'effet de la traction perpendiculaire sur le cartilage thyroïde avec celui de la traction horizontale sur les ligamens de la glotte. En conséquence, j'expérimentai d'abord la première ; après quoi je préparai le larynx, par l'ablation de la plus grande partie du cartilage thyroïde, afin de pouvoir étudier la seconde.

SONS. FAUSSET.	TENSION PAR TRACTION PERPENDICULAIRE.	TENSION PAR TRACTION HORIZONTALE.
$ut\sharp_3$	0,25 loth poids du plateau.	0
$ré_3$	0,45 loth, y compris le poids du plateau.	0,25 loth poids du plateau.
$ré\sharp_3$		0,35 loth, y compris le poids du plateau.
mi_3	0,75	0,45
fa_3	0,95	0,55
$fa\sharp_3$	1,35	0,75
sol_3	1,75	0,95
$sol\sharp_3$	2,25	1,25
la_3	2,75	1,75
$la\sharp_3$	3,15	1,95
si_3	3,95	2,35
ut_4	4,25	3,15
$ut\sharp_4$	4,75	3,45
$ré_4$	5,25	4,25
$ré\sharp_4$	6,25	5,25
mi_4	7,25	7,25
fa_4	8,25	9,25
$fa\sharp_4$	9,25	11,75
sol_4	10,25	14,25
$sol\sharp_4$	11,25	16,25
la_4	12,25	18,25
$la\sharp_4$	13,25	20,25
si_4		22,25
ut_5	14,25	24,25
$ut\sharp_5$	15,25	25,25

D'après cela, dans la traction horizontale, pour monter du

son *ré*$_3$, produit par le poids le plus faible, 1/4 de loth, à son octave *ré*$_4$, il fallait que le poids s'accrût de 0,25 à 4,25, ou de 1 : 17.

La tension était pour *ré*$_3$ et *ré*$_4$ :: 1 : 15
Pour *mi*$_3$ et *mi*$_4$ :: 1 : 16
Pour *fa*$_3$ et *fa*$_4$ :: 1 : 16
Pour *fa#*$_3$ et *fa#*$_4$ :: 1 : 15
Pour *sol*$_3$ et *sol*$_4$ :: 1 : 15
Pour *sol#*$_3$ et *sol#*$_4$ :: 1 : 13
Pour *la*$_3$ et *la*$_4$ :: 1 : 10
Pour *la#*$_3$ et *la#*$_4$ :: 1 : 9
Pour *si*$_3$ et *si*$_4$ :: 1 : 9
Pour *ut*$_4$ et *ut*$_5$ :: 1 : 7
Pour *ut#*$_4$ et *ut#*$_5$ :: 1 : 7

Le défaut de proportion entre l'ascension des sons et l'accroissement de la tension peut tenir à ce que, quand la tension devient plus forte, il faut une pression plus considérable de l'air pour faire sortir le son fondamental. Pour qu'on pût tirer des conclusions de cette expérience par rapport à la compensation, il faudrait que la pression inégale sous l'influence de laquelle se produit le premier son possible à une faible tension et à une tension plus forte, pût être réduite à une pression égale. Il est donc nécessaire d'avoir des expériences dans lesquelles chacun des sons produits par une tension croissante sorte sous une même pression moyenne de l'air. Telles sont les suivantes :

	SONS. FAUSSET.	TENSION PAR TRACTION HORIZONTALE.	PRESSION DE L'AIR. COLONNE D'EAU.
1re expér.	*la*$_3$	0,75^l, y compris 0,25 poids du plateau et du cordon.	8 pouces.
	la♯$_3$	1,25	8
	si$_3$	2,25	8
	ut$_4$	3,25	8
	ut♯$_4$	4,25	8
	ré$_4$	6,25	8
2e expér.	*fa*$_3$	0,75	6
	fa♯$_3$	1,25	6
	sol$_3$	1,75	6
	sol♯$_3$	2,25	6
	la$_3$	2,75	6
	la♯$_3$	3,25	6
	si$_3$	3,75	6
3e expér.	*ré*♯$_3$	0,75	4
	mi$_3$	1,25	4
	fa$_3$	1,75	4
	fa♯$_3$	2,25	4
	sol$_3$	2,75	4
	sol♯$_3$	3,25	4
	la$_3$	5,25	4

Dans la première expérience, lorsque la tension fut quadruplée, ce qui fait une octave avec les cordes, le son monta de moins d'une tierce ; dans la seconde expérience, sous l'influence d'un accroissement égal, la tension le fit monter d'une quarte, après quoi il dépassa la quarte ; dans la quatrième, il monta d'une quarte, puis après d'une quarte encore.

Les expériences suivantes ont été faites sur les sons de poi-

trine, timbre qu'on peut obtenir en appliquant aux parties latérales des cordes vocales les branches d'une paire de pinces fixées.

SONS DE POITRINE.		TENSION PAR TRACTION HORIZONTALE.	PRESSION DE L'AIR. COLONNE D'EAU.
		Lignes.	Pouces.
1re expér.	*la*$_2$	1,25, y compris le poids du cordonnet et du plateau.	
	la$\sharp_2$	1,45	8
	+*si*$_2$	1,55	8
	ut$_3$	1,75	8
	ut$\sharp_3$	2,15	8
	ré$_3$	2,75	8
	ré$\sharp_3$	4,75	8
	mi$_3$	5,75	8
	fa$_3$	8,25	8
2e expér.	*ut*$_3$	2,25	8
	ut$\sharp_3$	3,25	8
	ré$_3$	4,25	8
	ré$\sharp_3$	5,25	8
	mi$_3$	6,25	8
	fa$_3$	7,25	8
	fa$\sharp_3$	8,25	8
	sol$_3$	12,25	8
	sol$\sharp_3$	16,25	8
	la$_3$	20,25	8
	la$\sharp_3$		8
	si$_3$		8
	ut$_4$	29,25	8
3e expér.	*si*$_2$	1,25	8
	ut$_3$	2,25	8
	ut$\sharp_3$		8
	ré$_3$	3,25	8

SONS DE POITRINE.	TENSION PAR TRACTION HORIZONTALE.	PRESSION DE L'AIR. COLONNE D'EAU.
	Lignes.	Pouces.
ré$\sharp_3$	4,25	8
mi$_3$	5,25	8
fa$_3$	7,75	8
fa$\sharp_3$	11,25	8
sol$_3$	14,75	8
sol$\sharp_3$	19,25	8
la$_3$	21,25	8
la$\sharp_3$	25,55	8
si$_3$		8
ut$_4$	31,25	8
4e expér. *ut*$\sharp_3$	2,25	8
ré$_3$	3,25	8
ré$\sharp_3$	4,25	8
mi$_3$	5,25	8
fa$_3$	7,25	8
fa$\sharp_3$	9,25	8
sol$_3$		8
sol$\sharp_3$	16,25	8
la$_3$	18,25	8
la$\sharp_3$	20,25	8
si$_3$	24,25	8
ut$_4$	28,25	8
ut$\sharp_4$	32,25	8

Dans la première expérience, la tension étant quadruplée, le son monta successivement de plus d'une quarte, et ensuite de moins d'une quarte; dans la seconde, il monta uniformément de plus d'une quarte; dans la troisième, il monta d'une

quarte, de plus et moins d'une quarte, enfin d'une quinte; dans la quatrième, il monta d'abord environ d'une quarte, puis de plus d'une quarte, d'une quinte, et enfin de plus d'une quinte. Dans la seconde expérience, les tensions pour *ut*, et *ut*$_4$, étaient : 1 : 13, et la proportion serait à peu près la même dans la première, si l'on cherchait par interpolation l'octave qui y manque. La proportion des octaves est de 1 à 13,9 dans la troisième, de 1 à 14,3 dans la quatrième.

Dans la série actuelle d'expériences, le défant de proportion dans l'ascension des sons par l'accroissement de la tension a été plus évitée qne précédemment; néanmoins elle n'a pas disparu tout-à-fait, car une tension plus forte avait, quant à l'ascension, un résultat proportionnellement un peu plus grand qu'une tension plus faible. Je crois qu'on est en droit d'attribuer ces différences à l'inégale tension que l'accroissement dn souffle imprime aux fibres diverses des cordes vocales, dont l'étendue est considérable, tant en largeur qu'en hauteur. Quiconque connaît la structure de l'organe aperçoit qu'il y a impossibilité absolue de donner, du moins par une traction horizontale, une tension parfaitement égale à toutes ses fibres. Cependant, il ressort de ce qui précède qne, terme moyen, lorsqne la tension des cordes vocales devient quadruple, le son s'élève d'une quarte à une quinte, que l'élévation est d'une quarte et de moins d'une quinte par une tension faible, et de plus d'une quarte, d'une quinte et de plus d'une quinte par une tension plus forte, enfin qu'une élévation d'une octave, dans la partie moyenne de l'échelle, exige qne la tension soit accrue treize à quatorze fois, ou un peu moins, ou plus.

Il va sans dire qn'on ne doit prendre ce résnltat que pour une simple approximation. En multipliant et variant davantage les expériences, on en obtiendrait probablement d'autres, dont les uns resteraient an dessous des rapports numériques énoncés, et les autres les dépasseraient plus ou moins, de

manière qu'on se rapprocherait des termes de la série précédemment donnée, où le maximum était de 1 à 16 et le minimum de 1 à 7 pour les octaves. Cette même série nous apprend qu'il faudrait également s'attendre à des variations pour les quartes et les quintes, car la progression de 1 à 4 tomba d'abord au voisinage des quartes, et finalement bien au dessus des quintes, même au-delà des sixtes.

Nous pouvons maintenant comparer ensemble l'effet de la pression de l'air et celui de la tension directe. J'ai fait voir précédemment qu'il faut que la pression de l'air devienne cinq à huit fois plus forte, à égale tension des cordes vocales, pour élever un son à son octave, et qu'elle doit devenir à peu près double ou triple pour porter le son fondamental à la quarte et à la quinte.

La conclusion à tirer de là, c'est que, pour que la force de la voix monte jusqu'au forte, la hauteur des sons restant la même, la tension doit diminuer dans une bien plus grande proportion que la pression de l'air ne croît; que, quand celle-ci devient cinq à huit fois plus considérable, la tension doit devenir environ treize à quatorze fois moindre; enfin que, quand la pression de l'air monte au double et jusqu'au triple, ce qui produirait une quarte et jusqu'à une quinte, la tension, pour rabaisser le son à la hauteur du son fondamental, doit devenir quatre fois moins considérable, ou plus, ou moins.

Les expériences suivantes, faites directement sur la compensation, me paraissent s'accorder avec ce résultat, quand on prend la moyenne des variations, qui sont d'ailleurs assez fortes. Par les motifs que j'ai déduits précédemment, il faut éviter les tensions trop fortes et des cordes vocales et de l'air.

SONS SEMBLABLES QUI CROISSENT EN INTENSITÉ.		VOIX DE FAUSSET. TENSION DÉCROISSANTE.	PRESSION DE L'AIR CROISSANTE. COLONNE D'EAU DE
Piano	$ut\sharp_4$	4 loth.	3 1/2 pouces.
	$ut\sharp_4$	2	4
	$ut\sharp_4$	1	6
Forte	$ut\sharp_4$	1/2	8
Piano	$ut\sharp_4$	4	3 1/2
	$ut\sharp_4$	2	5
	$ut\sharp_4$	1	5 1/2
Fo rte	$ut\sharp_4$	1/2	7
Piano	ut_4	4	2 1/2
	ut_4	2	3
	ut_4	1	4
Forte	ut_4	1/2	5
Piano	ut_4	4	3
	ut_4	2	4
	ut_4	1	5
Forte	ut_4	1/2	6

SONS SEMBLABLES QUI CROISSENT EN INTENSITÉ.		VOIX DE POITRINE. TENSION DÉCROISSANTE.	PRESSION DE L'AIR CROISSANTE. COLONNE D'EAU DE
Piano	si_2	4 loth.	6 pouces.
	si_2	2	8
	si_2	1	10
Forte	si_2	1/2	12
Piano	ut_3	4	6
	ut_3	2	9
Forte	ut_3	1	11
Piano	$fa\sharp_3$	2	2 1/2
	$fa\sharp_3$	1	5
	$fa\sharp_3$	1/2	7
Forte	$fa\sharp_3$	1/4	8
Piano	si_3	2	4 1/2
	si_3	1	8
Forte	si_3	1/2	10
Piano	ut_4	4	5 1/2
	ut_4	2	8 1/2
	ut_4	1	10 1/2
Forte	ut_4	1/2	+12
Piano	$la\sharp_3$	4	4 1/2
	$la\sharp_3$	2	7
Forte	$la\sharp_3$	1	9
Piano	$ré_3$	4	7
	$ré_3$	2	11
	$ré_3$	1	12
Forte	$ré_3$	1/2	13
Piano	$ut\sharp_4$	8	5
	$ut\sharp_4$	4	8
	$ut\sharp_4$	2	11
Forte	$ut\sharp_4$	1	13

De tout cela il résulte, pour ce qui concerne, dans l'organe vocal humain, la compensation de la pression de l'air et de la tension des ligamens, que quand la première monte de 1 à 2, la seconde doit baisser de 1 à 4, ou même de 1 à 8. Si la diminution de la tension demeurait dans la proportion de 4 : 1, quand l'accroissement de la pression de l'air est dans celle de 1 : 2, on pourrait dire que la première est en raison inverse des carrés de la seconde. Mais les expériences ne justifient nullement ces conclusions; car il y eut plusieurs cas où la tension dut diminuer dans la proportion de 8 : 1, quand la pression de l'air croissait dans celle de 1 : 2, et d'autres où la diminution de la tension flottait entre 4 : 1 et 8 : 1, lorsque l'accroissement de la pression était de 1 : 2. Nous éviterons donc, pour marcher en toute assurance, de nous exprimer avec trop de précision, et nous nous en tiendrons à un résultat approximatif.

J'ai déjà prouvé que l'allongement et le raccourcissement du tube placé au devant et en arrière des ligamens de la glotte, dans le larynx humain, n'exerce pas d'influence sensible sur la hauteur du son, et mes nouvelles expériences sur les sons de poitrine les plus forts le confirment pleinement.

Pour produire la voix de poitrine, dans laquelle la largeur entière des cordes vocales et toutes les parties environnantes vibrent violemment, et pour exclure le fausset, dans lequel les cordes ne vibrent que par leur bord seulement, il faut nécessairement que les ligamens de la glotte éprouvent une compression latérale, que le muscle thyro-aryténoïdien exécute pendant la vie, mais qu'on opère, sur un larynx préparé, à l'aide des branches d'une paire de pinces. La question est de savoir si le degré de cette compression entre aussi en ligne de compte dans la compensation. Dans les expériences simples, une compression latérale légère suffit pour produire le registre de la voix de poitrine sur le larynx détaché du corps. On emploiera à cet effet les pinces représentées Pl. I,

fig. 5, et dont la *fig.* 6 marque les position sur l'organe vocal. Elles peuvent, à l'aide du mécanisme figuré sur la planche, être placées en avant et en arrière, et en haut en bas. S'il doit rester encore assez de chevalet antérieur du larynx pour tendre les cordes vocales par une traction exercée de haut en bas sur le cartilage thyroïde (Pl. I, *fig.* 1), on se contente de retrancher la partie supérieure de ce cartilage et les parties molles jusqu'aux ligamens inférieurs de la glotte, ce qui procure la pièce Pl. I, *fig.* 4. Pour pouvoir appliquer commodément les branches des pinces aux ligamens, il est nécessaire de rendre libres le pourtour latéral de ces derniers et le muscle thyro-aryténoïdien qui les couvre; alors on enfonce les pinces jusqu'à ce que leurs branches touchent les ligamens dans une étendue de quatre à cinq lignes; au moyen de la vis que ces branches portent, et qui les unit ensemble, on peut rendre la pression plus forte et rétrécir de plus en plus la glotte. Plus les sons de poitrine deviennent élevés, plus la glotte doit être étroite pour qu'ils parlent bien, et plus il faut serrer la vis. La plus grande détente des cordes vocales qu'on puisse obtenir est le résultat de la traction d'un cordon (*y*, Pl. I, *fig.* 3 et *fig.* 6) fixé dans l'angle du cartilage thyroïde, qui traverse une fente du pilier en bois (N) par lequel le larynx est supporté, passe sur une poulie (en *y'*), et peut être chargé de poids à volonté. Toute tension par devant ayant cessé, ce n'est que par ce mode de détente qu'on obtient les sons de poitrine les plus graves.

Veut-on se servir d'une tension des ligamens produite par une traction s'exerçant dans la direction de leur longueur et mesurable à l'aide de poids? il faut naturellement détacher le chevalet antérieur de son point d'appui, et couper le cartilage thyroïde entier, sans offenser la cavité du larynx, jusqu'à l'attache antérieure des cordes vocales. On a de cette manière la préparation Pl. I, *fig.* 3. Alors il est plus facile encore d'appliquer les branches des pinces.

Quand il s'agit d'expériences plus précises sur l'effet que la compression latérale des ligamens de la glotte produit relativement à la voix de poitrine, les pinces représentées Pl. I, *fig.* 5 ne suffisent point, car on ne peut mesurer ni le rapprochement de leurs branches, ni par conséquent la pression qu'elles exercent. On a recours, pour mesurer ce rapprochement, au compresseur Pl. I, *fig.* 7, qui peut être appliqué et mu de la même manière que les pinces *fig.* 5 sur l'appareil de la *fig.* 6.

Les branches du compresseur passent dans une fente au côté inférieur de la pièce *a b*; elles se rapprochent et s'écartent l'une de l'autre à l'aide de la vis *cd*, tournée en deux directions opposées; en *f* se trouve l'échelle, divisée en millimètres. Le prolongement *e* se meut en même temps que la branche *g*, et sert à faciliter la lecture des divisions de l'échelle. Les deux branches *g* et *h* se meuvent toujours ensemble, et s'écartent ou se rapprochent d'une égale quantité du commencement de l'échelle.

Le compresseur Pl. I, *fig.* 9 peut être appliqué de la même manière à l'appareil Pl. II, *fig.* 10. Il sert à mesurer la pression des branches par les poids. Les tiges des branches *c d* sont mobiles dans une fente de la pièce transversale *a b*, et peuvent être fixées à volonté par des vis; les branches elles-mêmes, *e f*, sont mobiles à charnières sur les tiges *c d*: *g h* sont des cordons qui meuvent les branches l'une par rapport à l'autre, et peuvent être tirés par des poids, comme l'explique l'appareil représenté Pl. II, *fig.* 10.

Dans les nombreuses expériences que j'ai faites sur la voix de poitrine, tantôt l'accroissement de la pression des branches a influé sur la hauteur du son, et tantôt aussi elle n'a exercé aucune influence en dedans de certaines limites. Ceci prouve que l'élévation du son, quand la tension reste la même et que la compression des ligamens devient plus forte, doit dépendre d'une circonstance accessoire, et que, quand cette circonstance cesse d'agir, les variations qu'on peut faire

subir à la compression, sans néanmoins sortir de certaines limites, n'influent point sur la hauteur du son. Un exemple de la première espèce est fourni par l'expérience suivante, dans laquelle la pression sur les ligamens était mesurée par des poids.

TENSION DES CORDES VOCALES.	SONS.	PRESSION SUR LES LIGAMENS, DE CHAQUE CÔTÉ.
0	*si*$_3$	6,25 loth, y compris 0,25 poids du plateau et du cordon.
	la$_3$	5,75
	sol$_3$	5,25
	fa$_3$	4,75
	ré♯$_3$	4,25
	ré$_3$	3,75
	ut♯$_3$	3,25
	si$_2$	2,75
	la$_2$	2,25
	sol$_2$	1,75

Je crois avoir remarqué que l'élévation du son par suite de la compression des cordes vocales, arrivait toujours soit lorsque cette compression agissait en même temps sur la tension des ligamens, ou rétrécissait plus spécialement une partie de la glotte, et diminuait par-là la longueur des parties vibrantes, soit quand la pression de l'air augmentait. Plus la pression sur les ligamens devient considérable, plus aussi, en général, on est obligé de renforcer la pression de l'air, pour obtenir les sons. Mais il résulte de là que le ton hausse. Il y eut certains cas dans lesquels les sons s'élévèrent, bien que la pression de l'air mesurée à l'aide du manomètre ne changeât

point ; mais alors cet effet paraissait dépendre d'une des causes que j'ai indiquées. Quoi qu'il en soit, j'ai quelquefois réussi à maintenir les sons à la même hauteur, en accroissant la compression des ligamens, bien que la pression moyenne de l'air demeurât la même, comme l'annonçait le manomètre. Le son resta le même, quant à l'élévation, dans un cas où la compression s'éleva graduellement depuis le minimum jusqu'à six loth de chaque côté. Mais ce qui rend une forte compression toujours nécessaire pour produire les sons élevés de poitrine, c'est qu'en accroissant la pression de l'air par le souffle, on obtient des sons bien plus élevés quand la glotte est étroite que quand elle ne l'est pas. La tension ne suffit pas, comme je l'ai démontré, pour produire les sons élevés de poitrine. Plus les cordes vocales sont tendues, plus aussi les sons de fausset ont de facilité à sortir. Dans les cas où le son restait le même quant à la hauteur, la tension ne changeant pas, mais la compression des cordes vocales croissant, le son variait beuucoup eu égard à l'éclat, suivant le degré de cette compression. A un certain degré de pression, les sons de poitrine étaient anssi pleins qu'ils pouvaient l'être ; si l'on poussait plus loin la pression, ils perdaient de lenr volume, et prenaient un caractère de faiblesse filée, que nous pouvons également leur donner, sur nous-même, par des moyens artificiels.

Sous ce rapport donc l'organe vocal de l'homme possède une nouvelle condition qui lui permet d'apporter de grandes variétés dans l'éclat de ses sons, et l'on est surpris de pouvoir pousser si loin l'appréciation physique des moyens que nous admirons dans la modulation des chanteurs. Cet organe peut donner les mêmes sons, pleins et filés, avec les nuances les plus diversifiées ; l'étude et l'exercice procurent au chanteur la conscience de tous ses moyens, et lui enseignent à les employer de manière à ne produire que les sons les plus agréables.

Tous les faits dont il a été question jusqu'ici peuvent être

observés sur des larynx qui n'ont que les ligamens inférieurs de la glotte, auxquels on a enlevé les ligamens supérieurs et les ventricules de Morgagni. C'est de cette manière qu'on doit faire d'abord les expériences, dans toute leur étendue, avant d'aller plus loin. Car il faut connaître les effets de tous les élémens l'un après l'autre, avant d'étudier la part qu'ils prennent au mécanisme considéré dans son ensemble.

Je n'ai point négligé de rechercher la part qui revient aux parois élastiques situées au dessus des ligamens inférieurs de la glotte.

Le premier pas consiste à faire des expériences sur des larynx possédant encore l'épiglotte, les ligamens supérieurs et les ventricules de Morgagni. La marche à suivre est la même que pour les précédentes. Il faut attacher ensemble les bases des cartilages aryténoïdes, et les fixer comme paroi postérieure du larynx. On ne tarde pas à se convaincre que les sons sont absolument les mêmes, quant à l'éclat, et qu'il n'y a là aucun élément nouveau à découvrir. Pour obtenir la voix de poitrine, il est également nécessaire de rapprocher les cordes vocales l'une de l'autre par une pression latérale. Je me suis demandé si les ligamens supérieurs de la glotte, qui tiennent aux inférieurs par le revêtement élastique des ventricules, ne seraient pas peut-être dans un tel rapport de compensation avec les cordes vocales, que par exemple les tensions inégales des uns et des autres se compensassent mutuellement; car la théorie indique qu'un son correspondant à la tension des ligamens inférieurs serait rendu plus grave par une tension moindre des supérieurs, et *vice versa*. Pour éclaircir ce point, j'ai déterminé, sur un même larynx demeurant fixe, d'abord le son le plus élevé qu'il est possible d'obtenir par le maximum de la tension, lorsque les ligamens supérieurs et les ventricules de Morgagni existent, puis celui qu'on obtient après l'ablation de ces parties. Mais les ligamens supérieurs ne modifient pas sensiblement la hauteur du son. Ce qui prouve

déjà que ni eux ni les ventricules ne sont nécessaires à la formation de la voix, c'est qu'ils manquent chez beaucoup de Mammifères, notamment les Ruminans. Mais ils doivent contribuer à renforcer l'éclat, et on les voit, ainsi que les parois des ventricules, vibrer fortement, surtout dans la voix de poitrine ; ce qui, du reste, leur est commun avec toutes les membranes élastiques du larynx et avec le ligament crico-thyroïdien. Ce n'est que quand les ligamens supérieurs sont très-rapprochés, qu'ils donnent des sons propres. L'épiglotte fait également entendre des sons bourdonnans, lorsqu'on la place dans une certaine situation par rapport au courant d'air; ces sons diffèrent beaucoup de ceux des ligamens inférieurs.

L'abaissement de l'épiglotte change beaucoup le timbre de la voix, mais en altère à peine l'élévation. Il faut néanmoins éviter, en abaissant cet appendice, d'exercer aucune tension sur les membranes élastiques qui ont des connexions tant avec lui qu'avec les cordes vocales; autrement, et la chose est très-facile, le son s'élève, comme on le conçoit bien. Pour échapper à toute erreur, le mieux est d'exciser l'épiglotte, de la saisir avec des pinces, et de s'en servir alors pour couvrir et découvrir alternativement l'entrée du larynx. Dans les anches en caoutchouc, un obturateur placé au devant des rubans élève le son avec une grande facilité, ainsi que je l'ai montré ailleurs, et, d'après la théorie, on devrait s'attendre ici à un effet semblable de la part de l'épiglotte. Cependant à peine ai-je pu quelquefois reconnaître un changement appréciable. Du reste, l'ablation totale de l'épiglotte ne change pas la voix d'une manière essentielle. Cet appendice n'empêche pas que le son s'élève quand le souffle devient plus fort. Chez l'homme vivant, le rétrécissement de l'isthme supérieur de la glotte au moyen de la langue et avec le secours de l'épiglotte change le timbre de la voix jusqu'à la rendre nasillarde, et permet d'imiter la voix des animaux, ainsi que celles qui sont particulières à chaque individu.

Dans les expériences sur la production de la voix de poitrine par des larynx préparés suivant la manière que j'ai indiquée, il sort des sons de poitrine qui ont une ressemblance parfaite avec ceux de la voix humaine, quoique toutes les parties situées au dessus des ligamens inférieurs de la glotte aient été retranchées. J'en ai fait d'autres aussi dans lesquelles je conservais non seulement les ventricules de Morgagni, les ligamens supérieurs et l'épiglotte, mais de plus l'arrière-gorge, avec le nez et la bouche; ici non plus je n'ai pu découvrir aucnn nouvel élément; mais le timbre devient plus semblable encore à celui de la voix humaine; le ressemblance va même si loin, au moyen de dispositions dont je vais parler, qu'ils n'y a plus aucune différence entre la machine et le corps vivant. Ces expériences présentent beaucoup plus de difficultés que les précédentes. Il s'agit également de fixer le larynx, et de le soumettre aux mesures et aux poids.

Voici comment je procède:

Je coupe la tête d'un cadavre, de manière que l'appareil vocal entier et une partie de la trachée-artère y demeurent adhérentes. J'enlève alors les vertèbres du cou, comme pour la préparation du pharynx, je mets le larynx à découvert en avant, j'ouvre le pharynx derrière les cartilages aryténoïdes, et je traverse ceux-ci d'une forte épingle, sur laquelle je les attache; je fais passer la ligature par la fente pratiquée au pharynx, puis je recouds ce dernier, et je le ferme, par un lien, à son extrémité inférieure. Alors je suspends la tête; je fixe, comme d'ordinaire (Pl. II, *fig.* 12), la paroi postérieure de l'organe vocal à un pilier, et j'attache surtout la partie de cette paroi, formée parl es cartilages aryténoïdes, au moyen de la ligature dont il a été parlé plus haut. Cela fait, j'excise le cartilage thyroïde jusqu'à l'insertion des cordes vocales, sans léser la membrane muqueuse du larynx; j'attache à la portion restante de ce dernier cartilage un lien dont l'usage est de tendre horizon-

talement les ligamens inférieurs de la glotte, et que je fais passer sur une poulie.

Pour comprimer les cordes vocales, j'emploie un appareil particulier représenté Pl. II, *fig.* 11. Ce n'est qu'une modification du compresseur représenté Pl. I, *fig.* 7.

Des branches du compresseur partent, en direction verticale, deux autres branches, qui sont arquées comme la figure l'indique. Le compresseur est disposé ainsi que le représente la Pl. II, *fig.* 12, et il comprime les régions des cordes vocales. On ne peut rien dire de plus : chacun connaîtra bientôt la situation des pinces et la force de pression nécessaire pour produire un bon son, en variant les circonstances.

Dans ces expériences, on voit avec quelle force le revêtement élastique des ventricules de Morgagni et la membrane obturatrice tendue entre l'hyoïde et le larynx, vibrent pendant les sons de poitrine.

On peut même, en faisant remuer les lèvres, amener la formation de quelques consonnes; l'*m* et le *v* sortent très-facilement, comme aussi les voyelles *u* et *a* en imprimant le changement nécessaire à l'ouverture de la bouche.

Une circonstance qui mérite encore d'être mentionnée, c'est l'étendue de la voix sur les larynx préparés, comparée à celle de la voix des hommes vivans. J'ai déjà dit qu'en tendant davantage les ligamens, on peut obtenir, sur les larynx d'individus du sexe masculin, des sons beaucoup plus aigus que la voix de l'homme vivant n'est communément capable d'en produire. Dans les expériences que j'ai rapportées, il fut possible d'atteindre, par la tension des ligamens, au-delà de deux octaves, depuis *la*$\sharp_3$ jusqu'à *ré*$\sharp_5$. Il ne faut cependant pas croire que ce soit là une contradiction entre l'expérience faite sur des parties mortes et la nature vivante. Ce registre de *la*$\sharp_3$ à *ré*$\sharp_5$ est assurément en partie beaucoup plus élevé que celui de la voix des individus appartenant au sexe masculin; mais le larynx préparé donnait aussi les sons plus

graves de la voix d'homme, par une détente plus grande encore des cordes vocales que celle qu'elles éprouvent dans l'état où elles semblent ne plus être tendues. Comme le ligament crico-thyroïdien, qui est élastique, tire encore sur le chevalet antérieur alors même que les cordes vocales paraissent être lâches, le maximum de détente ne peut naturellement être obtenu que par une traction en sens inverse, en rapprochant le cartilage thyroïde de la paroi postérieure du larynx par le moyen d'un lien chargé de poids, mouvement que le muscle thyro-aryténoïdien a le pouvoir d'exécuter. Si, en même temps, les cordes vocales éprouvent une compression latérale, que ce muscle exerce également sur elles durant la vie, on obtient sans peine *ut*$_2$ et *si*$_1$, et par conséquent on arrive aux sons les plus graves de la voix de l'homme. C'est ce que prouve une expérience que j'ai rapportée précédemment, dans laquelle le larynx donnait, avec un poids de 3 loth tirant de haut en bas, pour tendre les cordes vocales, *mi*$_3$ et avec un poids de 37 loth *ré*$\sharp_3$. La détente de l'état qui produisait *mi*$_3$ fut opérée par un lien tendu de l'incisure du cartilage thyroïde à la partie postérieure, et passant sur une poulie. Plus on chargeait ce lien de poids, plus les sons devenaient graves.

SONS.	POIDS POUR RELACHER LES CORDES VOCALES.
ré$\sharp_3$	3/10 loth.
ré$_3$	1/2
ut$\sharp_3$	1
ut$_3$	1 3/10
si$_2$	1 4/10
la$\sharp_2$	1 1/2
la$_2$	1 7/10
mi$_2$ et *sol*$\sharp_2$ l'un après l'autre.	2 2/10
mi$_2$	2 4/10
ré$\sharp_2$	2 6/10
ré$_2$	2 8/10
ut$\sharp_2$	3 5/10
si$_1$	3 3/10

Le même larynx, dont les sons pouvaient être poussés jusqu'à *ré*$\sharp_3$ par tension, était susceptible, par le maximum de la détente, d'abaisser ses sons jusqu'à *si*$_1$. Je n'en ai jamais rencontré de meilleur dans mes nombreuses expériences. Ainsi, tous les sons de la voix des individus masculins peuvent être imités avec le larynx détaché du corps, et l'on va même plus loin dans le haut. Si le larynx de l'homme vivant ne monte pas autant, l'explication, aussi simple que vraisemblable, en est que les muscles ne sont pas capables de produire une tension aussi considérable que celle qu'on obtient, sur le cadavre, avec des poids.

J'ai prouvé que l'organe vocal de l'homme et des Mammifères est une anche à languettes membraneuses. Jadis on se faisait une idée trop restreinte des anches, en supposant qu'il

fallait de toute nécessité que le courant de l'air fût complétement interrompu à chaque double impulsion ou vibration de cet air. Le même instrument à languettes membraneuses ne perd point le caractère de ses sons, que l'interruption soit complète ou incomplète, et les vibrations d'une lame membraneuse conservent le même caractère lorsqu'elles ont lieu librement dans l'air, comme je l'ai également démontré. Les conditions exigibles dans un instrument à anche, outre la colonne d'air co-vibrante et modifiant le son de la languette, qui peut exister, mais qui peut aussi manquer, ces conditions sont au nombre de trois : 1° une lame de métal, de bois, de membrane, susceptible d'être mise en vibration, et qui peut être large ou étroite, qui peut même n'être qu'un ruban analogue à une corde ; 2° un courant d'air qui, d'après la force du choc, modifie l'élévation du son primitif de la lame ; 3° une interruption partielle ou totale du courant d'air entre les vibrations ou les chocs. L'interruption partielle du courant d'air a lieu même encore alors qu'on fait parler librement dans l'air une languette membraneuse par un courant d'air délié qui vient la frapper ; car ce courant la repousse, et en revenant sur elle-même, en vertu de son élasticité, elle l'interrompt partiellement jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau repoussée. Plus l'interruption du courant d'air est complète, plus les sons de l'anche ont d'éclat.

J'ai fait remarquer que les vibrations de la lame contribuent autant que les interruptions du courant d'air à l'éclat des sons des instrumens à anche. Dans ceux de ces instrumens qui ont des languettes membraneuses, le timbre particulier du son de la membrane, qui est fort différent de celui de l'air seul, dépend beaucoup des vibrations de la languette. On peut se convaincre, par des expériences directes, de la part qui, dans les sons des instrumens à anche, revient à la languette et de celle qui appartient à l'air. Lorsqu'on se bouche les oreilles avec des tampons de papier mâché, et

qu'on tient une verge appliquée au tampon, cette verge est apte à recevoir parfaitement les vibrations de parties solides, et à les transmettre aux parties solides de l'organe auditif, avec lesquelles elle communique. Mais, en sa qualité de corps solide, elle n'est point aussi propre à bien conduire les vibrations de l'air lui même. Ainsi, en se servant de la verge comme d'un conducteur entre une anche vibrante et le bouchon de l'oreille, on entendra les vibrations de l'anche elle-même. Si l'on se sert d'un larynx artificiel à languettes en caoutchouc, on applique cette verge à l'anneau ou au tuyau sur lequel les languettes sont tendues; si l'on opère sur un larynx naturel, on la met en contact avec un cartilage. On perçoit très bien les vibrations de cette manière. Au contraire, sans la verge et le bouchon dans l'oreille, les vibrations de l'air de l'instrument sont celles qu'on entend le mieux, parce que l'air est le meilleur conducteur pour les vibrations de l'air.

Dans une expérience comparative pour entendre avec une verge les covibrations du tuyau d'une flûte, instrument où l'air seul produit le son, on entend bien aussi ce dernier, mais faible proportionnellement, et dans tous les cas on le perçoit plus faiblement que les vibrations des parties solides d'un instrument à anche.

II. Sons buccaux produits par l'homme.

L'homme peut aussi produire un grand nombre de sons avec sa bouche. Je fais abstraction ici de toutes les espèces de bruits qui sont possibles dans cette cavité, et dont je traiterai plus loin, en m'occupant de la parole; je n'entends parler maintenant que de simples sons. Des sons analogues à ceux des tuyaux à bouche peuvent se produire tant dans la partie antérieure que dans la partie postérieure de la cavité orale, et de plus il y a aussi dans la bouche un registre de sons auxquels l'air donne naissance.

1° Sons buccaux produits par des membranes vibrantes.

Ici se rangent les sons ronflans qui s'engendrent au vôile du palais et aux lèvres.

1. Sons produits au voile du palais.

Les véritables sons du voile palatin sont ceux qui caractérisent l'exscréation et le ronflement. Dans les deux cas, les piliers sont mis en mouvement, par le courant d'air, à la façon des languettes membraneuses. Les sons sortent d'autant plus facilement, que les piliers sont plus contractés, et ils peuvent avoir lieu soit quand la bouche est ouverte et le nez bouché, soit quand le nez est libre et la bouche close.

La langue vibre de la même manière lorsqu'elle s'applique au palais pour former la lettre *r*; mais ses vibrations sont trop courtes pour donner lieu à un son; il n'en résulte que du bruit.

2. Sons produits aux lèvres.

L'air comprimé, en traversant les lèvres, produit, en faisant vibrer ou la totalité de ces appendices, ou seulement leur bord, des sons dont l'élévation varie selon leur degré de tension. Si je place un tuyau au devant de la bouche, et que je l'allonge, l'élévation du son labial subit une modification, de même qu'il arrive, en pareille circonstance, au son des languettes en caoutchouc.

Les sons qu'on produit en soufflant entre deux doigts rapprochés l'un de l'autre, sont de la même espèce.

2. Sons de la bouche produits par la résonnance de l'air.

A cette catégorie appartient le sifflement avec les lèvres. Ce sifflement a été attribué aux vibrations des lèvres. Mais on n'a pas de peine à se convaincre que celles-ci demeurent en repos pendant qu'il s'exécute, car non seulement on peut les toucher du doigt et les couvrir, mais encore, comme l'a fait Cagniard Latour, on peut produire les mêmes sons avec un disque de carton percé dans le milieu, qu'on tient entre les lèvres. J'obtiens encore un son grave en prenant entre mes lèvres un disque d'ivoire, et aspirant l'air à travers une ou-

verture d'un diamètre de quatre lignes, qu'il présente à sa partie moyenne. La théorie de Cagniard Latour me semble parfaitement exacte. L'agent producteur du son est l'air qui frotte contre les parois du canal. On sait que le frottement des corps produit des sons lorsqu'il est intermittent. Tels sont ceux qu'on obtient en frottant avec le doigt une surface lisse, par exemple le bord d'un verre, ou en tournant dans un cylindre de verre une baguette couverte d'étoffe, etc. L'air donne lieu à un son par frottement, lorsqu'il passe à travers une fente étroite d'un corps dur, dont les bords ne peuvent être assimilés aux lèvres d'une anche. On ne sait pas encore bien comment s'opère ici l'intermission du frottement, mais le fait est indubitable. Le son qu'on excite en frottant le verre tient évidemment, comme celui qui dépend de l'action d'un archet, à des interruptions périodiques du frottement par suite de l'adhésion du doigt, de même que, quand on pose le doigt sur une table, et qu'on le pousse en avant, le mouvement se trouve interrompu d'une manière périodique. Mais que le mouvement de l'air qui passe sur les bords d'une fente soit interrompu périodiquement par le frottement, c'est ce qu'il est plus facile de présumer qne de démontrer. La possibilité que l'air adhère à l'eau nous est prouvée d'une manière évidente par les lames frisées que le vent excite à la surface du liquide.

Cagniard Latour me paraît n'avoir point eu assez égard à la cavité orale dans l'explication qu'il a donnée du sifflement avec les lèvres. Il cherche à réfuter l'analogie avec un tuyau à bouche. Cependant cette analogie me semble très-grande. Savart a montré qu'on peut encore produire des sons avec l'embouchure d'un tuyau à bouche, de sorte que, rigoureusement parlant, dans ces sortes de tuyau, c'est l'embouchure ou la lèvre qui excite le son et détermine l'air à vibrer, mais que la vibration du tuyau est changée par la colonne d'air. Il paraît en être de même dans le sifflement avec la bouche ; la

cause de la vibration se trouve à l'embouchure des lèvres ou du disque de liége, et consiste en un frottement; mais cette vibration fait vibrer la colonne d'air de la cavité orale, par le nombre des vibrations de laquelle elle est à son tour déterminée. L'effet diffère aussi en ce que, chez l'homme qui siffle, l'air entre en mouvement dans le tuyau et l'embouchure à la fois, de manière à former un courant d'air progressif, tandis que, dans un tuyau à bouche, il ne forme pas courant hors du temps des vibrations soutenues.

Cette explication se concilie très-bien avec les faits que l'expérience nous fournit, eu égard au changement des sons du sifflement par la bouche. En effet, ces sons changent :

1° Quand on souffle plus fort, sans changer ni l'ouverture ni la situation de la langue; c'est précisément ce qui a lieu dans les petits tuyaux à bouche, longs de deux pouces et moins, dont on peut accroître considérablement l'élévation, sans que les intervalles soient observés;

2° Quand on change l'ouverture des lèvres; d'où résulte un effet semblable à celui que produit une ouverture ou plus grande ou plus petite de l'embouchure des tuyaux à bouche;

3° Quand on change le tuyau ou la cavité orale. Les sons deviennent plus graves lorsqu'on retire la pointe de la langue en arrière, et plus aigus lorsqu'on la porte en avant. Ce changement ressemble à ceux qu'on opère en modifiant la longueur et l'ampleur des tuyaux à bouche. Ils marchent aussi parallèlement à ceux qu'on observe dans la guimbarde. Dans le sifflement, les vibrations sont dues au frottement de l'air pendant son passage à travers l'ouverture des lèvres; dans la guimbarde, elles proviennent du battement de la languette ou de l'aspiration de l'air; dans un cas comme dans l'autre, le son produit diffère, toutes choses égales d'ailleurs, en raison de la forme de la cavité orale et de la situation de la langue.

III. Voix des Mammifères.

Les causes de la voix, chez les Mammifères, sont, quant aux points essentiels, les mêmes absolument que chez l'homme. Tout ce qui a été dit plus haut s'applique à ces animaux. Le son est fourni par les ligamens inférieurs de la glotte. Une fois que l'on connaît la cause des sons graves et forts par le relâchement des cordes vocales de l'homme, on ne trouve pas surprenant que ces ligamens donnent les sons graves des bêtes à cornes, etc.; en effet, on les voit vibrer dans les expériences faites sur le larynx du Bœuf, et le son en est grave et fort, quand ils sont relâchés. Les ligamens supérieurs de la glotte et les ventricules de Morgagni manquent chez les Ruminans, ce qui prouve qu'ils ne sont point nécessaires à la production des sons graves (1). Les Solipèdes ont un ligament supérieur de la glotte. Dans le Cheval, la membrane muqueuse forme aussi, au dessous de l'épiglotte, un pli semi-circulaire, qui va d'un ligament à l'autre. Ce pli n'existe pas chez l'Ane, non plus que chez le Mulet (2). Le Cheval a au dessous de lui une cavité infundibuliforme, et au dessus une seconde cavité, qui est plus spacieuse dans l'Ane et le Mulet. Ces derniers ont de grands ventricules de Morgagni ; ceux du Cheval présentent des ouvertures étroites et plus rapprochées de l'épiglotte (3). Le Cochon a aussi un vaste sac membraneux au dessous de l'épiglotte. L'anatomie du larynx des Mammifères appartenant à d'autres ordres a été si complétement exposée par Brandt (4), que je puis renvoyer au travail de cet anatomiste.

(1) Consultez les recherches de Lehfeldt sur le larynx de plusieurs Mammifères, dans l'ouvrage précité.

(2) Gurlt, *Vergleichende Anatomie der Haussæugethiere*, t. II, p. 167.

(3) Gurlt, *loc. cit.*, p. 167.

(5) *Diss. de mammalium quorumdam præsertim quadrumanorum vocis instrumento*, Berlin, 1826.

Chez les Singes, la partie principale de l'organe vocal ne change pas, mais les parties résonnantes offrent souvent des dispositions particulières. Ainsi l'Orang-Outang a un sac entre le cartilage thyroïde et l'hyoïde; Cuvier a aussi trouvé un sac membraneux au dessous de l'hyoïde du Mandrill, du Papion et du Macaque. Mais le plus grand appareil de résonnance est celui des Singes hurleurs du Nouveau-Monde, qui consiste en une dilatation de leur hyoïde et de leur cartilage thyroïde, en des sacs latéraux partant des ventricules, et en des sacs laryngo-pharyngiens, dont Brandt a donné la description. Chez ces animaux, l'épiglotte a une forme toute spéciale et une grandeur considérable. Chez les Sapajous, comme l'a fait voir Cuvier, l'agrandissement des cartilages de Wrisberg, leur forme et celle de l'épiglotte, donnent naissance à un canal recourbé en forme d'S. La voix de ces Quadrumanes est sifflante. Brandt est entré dans de grands détails sur les cartilages cunéiformes, qui sont souvent si grands chez les Mammifères, et sur des cartilages particuliers qu'offre leur larynx (1).

IV. Voix des Reptiles.

Parmi les Reptiles, le Crocodile, les Grenouilles, les Crapauds et les Pipas doivent être pris en considération sous le rapport de la voix, qui, chez eux, naît dans le larynx, comme celle des Mammifères.

Le larynx du Crocodile possède de très-fortes cordes vocales, ou lèvres de la glotte, qui ont, au dessous d'elles, un ventricule spacieux, de chaque côté. Elles se trouvent, de chaque côté, sur une bandelette cartilagineuse arquée, dont les extrémités antérieure et postérieure sont fixées en avant et en arrière au pourtour supérieur d'un cartilage annulaire.

(1) *Voyez* l'explication de la Planche III pour plus de détails sur ces appareils de résonnance.

Ces lèvres épaisses, quand on souffle par la trachée-artère, entrent en vibration de la même manière absolument que les cordes vocales de l'homme. Les sons que j'ai obtenus de cette manière sur le larynx de l'*Alligator lucius* ressemblaient aux sons de fausset de la voix humaine.

Dans la Grenouille mâle, les cordes vocales sont doubles. L'inférieure forme un pli au pourtour extérieur de l'entrée de la bronche dans le larynx. La supérieure est la principale, et fait une forte saillie dans la cavité laryngienne, tendue d'avant en arrière sur le grand cartilage aryténoïde, qui a la forme d'une coquille. Ce n'est pas un simple pli transversal : la portion élastique du ligament se trouve au bord libre du pli, et forme une plaque avec le bord semi-circulaire supérieur et inférieur. Les faces internes de ces plaques ou ligamens renferment la glotte. Leur pourtour extérieur est uni, par le pli de la membrane muqueuse, avec la paroi externe du larynx, notamment du cartilage aryténoïde. Les mouvemens de ce dernier changent la position des ligamens par rapport au courant d'air. La paroi inférieure du pli qui unit les cordes vocales avec la paroi latérale du larynx, est tellement maintenue par un petit frein perpendiculaire, que les cordes ne peuvent pas se porter trop en haut. Quelques espèces de Grenouilles ont dans le ligament vocal un petit cartilage, dont Mayer a donné la figure d'après le *Bufo lazarus*. C'est une répétition de ce que Savart a observé chez plusieurs Oiseaux chanteurs.

Il m'a été assez facile de tirer des sons aigus et des sons graves des cordes vocales de la Grenouille, en soufflant par les orifices inférieurs du larynx. L'air libre même en produit quelquefois sur le larynx détaché du corps. Les sacs laryngiens des mâles, qui communiquent avec la bouche par des ouvertures, ne peuvent être gonflés entièrement par l'animal, que quand la bouche et le nez sont fermés. Le croassement ne saurait tenir à cela seulement; car l'ouverture qui mène

dans les sacs ne renferme aucune partie qui puisse entrer aisément en vibration par l'insufflation de ces cavités. Au reste, les sacs laryngiens permettent à la Grenouille mâle de produire sa voix dans le larynx en fermant la bouche et le nez, car l'air qui résonne en passant auprès des cordes vocales peut s'écouler dans leur intérieur. Lorsque nous faisons sortir notre voix avec force en fermant la bouche et bouchant le nez, les joues se gonflent.

L'organe vocal du Pipa mâle présente une anomalie particulière, en ce que les sons y sont produits par des corps solides qui vibrent. La trachée-artère manque, comme chez les Batraciens en général, et les bronches sortent immédiatement du larynx. Celui-ci forme une vaste poche cartilagineuse, décrite par Rudolphi, qui reçoit l'air en devant par la glotte. Dans l'intérieur de cette poche se trouvent deux tiges cartilagineuses, presque aussi longues qu'elle, et dont Mayer a donné la description (1). Ce ne sont pas des battans libres et mobiles, comme celui d'une cloche, car leur extrémité antérieure est fixée par une articulation ; la postérieure, libre, se trouve précisément en face de l'orifice de chaque bronche. Le bord de l'ouverture de la bronche dans la poche présente une languette membraneuse mince, qui est surtout bien prononcée en dehors. Ces tiges agissent comme des languettes en forme de verges, ou comme un diapason, tandis que les organes vocaux ordinaires des animaux sont membraneux. Lorsqu'on en fixe une par l'une de ses extrémités, et qu'on souffle sur le bord de l'autre bout avec un petit tube, on obtient une espèce de bourdonnement ; du moins quand l'expérience réussit. Cependant il faut avoir égard aussi au rebord membraneux qui garnit l'entrée de la glotte, et qui doit pouvoir être mis d'autant plus aisément en vibration que les tiges bou-

(1) *Nov. act. nat. cur.*, XII, P. II, p. 541. *Voyez* aussi l'explication de la Planche II.

chent partiellement l'orifice des bronches. La mise en vibration de ces tiges par leur extrémité antérieure, là où elles bornent la glotte par leur bord interne saillant, est possible aussi ; toutefois il n'y a point de cordes vocales sur ce point. Lorsque Cagniard-Latour me fit voir plusieurs instrumens producteurs de son qu'il avait imaginés, j'en aperçus un dans le nombre qui me frappa sur-le-champ par son analogie avec l'organe vocal du Pipa. Il consiste en un tube dont l'un des bouts est fermé par une plaque dans laquelle se trouve une fente. L'intérieur du tube renferme une petite languette métallique fixée sur une traverse, et dont l'extrémité libre avoisine la fente de la plaque. On fait vibrer la languette en soufflant par la fente. Cet appareil n'exige pas de plus amples explications.

V. Voix des Oiseaux.

1.° *Organe vocal des Oiseaux.*

Je prendrai pour principal guide, dans l'exposition anatomique, les recherches qui ont été faites par Cuvier et Savart. De nouvelles dissections, surtout depuis celles de Savart, ne pourraient guère conduire qu'à des faits déjà connus.

L'organe vocal des Oiseaux, le larynx inférieur, situé à la bifurcation de la trachée-artère, est, la plupart du temps, indiqué, dès l'extérieur même, par la fusion de plusieurs anneaux de la trachée-artère, constituant ce qu'on appelle le tambour. Le dernier de ces anneaux forme deux saillies, l'une antérieure, l'autre postérieure, dont les sommets se trouvent placés plus bas que la partie externe du bord de l'anneau. Les deux saillies sont, chez la plupart des Oiseaux qui ont de la voix, réunies par une traverse osseuse, qui partage l'orifice inférieur de la trachée-artère en deux parties auxquelles aboutissent les bronches. Il peut y avoir des plis membraneux tant au pourtour extérieur qu'au pourtour intérieur des ouvertures bronchiales de la trachée-artère. Chez certains

Oiseaux, comme l'Oie, ce qui produit le son est un pli tendu au côté externe du bord inférieur du tambour. En effet, entre l'extrémité de celui-ci et le premier anneau trachéal, la trachée-artère est membraneuse ; cette membrane, dans toute la partie qui s'insère au bord inférieur du tambour, est très-tendue, attendu qu'elle se trouve fortement tirée par les apophyses antérieure et postérieure du bord inférieur du tambour ; plus loin, entre le tambour et le premier anneau de la trachée-artère, elle est lâche. La partie tendue de la membrane à l'extrémité inférieure et au bord externe du tambour, est l'organe vocal de l'Oie. Même après l'arrachement des bronches, cette portion tendue de la membrane demeure située à l'extrémité inférieure du tambour, et l'on obtient encore des sons en soufflant par le bout supérieur de la trachée-artère. En dedans, cette membrane ne forme qu'une faible saillie, appelée pli ou ligament vocal. Chez l'Oie et plusieurs autres Oiseaux, le bord interne des ouvertures bronchiales de la trachée-artère n'offre point de ligament vocal, point de pli ; mais, d'après les observations de Savart, ce pli, qu'il nomme membrane semi-lunaire, existe chez les Oiseaux chanteurs. Savart l'a trouvé très-développé dans le Rossignol, la Fauvette, le Serin, la Linotte, le Chardonneret, le Verdier, le Pinson, le Rouge-gorge, le Gorge-bleue, le Pouillot, le Traîne-buisson, l'Ortolan de roseau, le Roitelet, l'Alouette, l'Hirondelle de cheminée, le Rouge-queue, le Tarin, le Daguet, le Troglodyte, le Pinson des Ardennes. Il manque chez le Gros-bec, le Moineau, le Roitelet, l'Hirondelle de fenêtre, celle de rivage, la Soulcie, le Bruant-fou, la Mésange-nonette, etc.

C'est chez les Oiseaux capables d'apprendre à parler, le Corbeau, la Pie, la Corneille, le Geai, l'Étourneau, la Grive, le Merle, qu'il a les plus grandes dimensions. A l'entrée des bronches se trouvent encore, selon Savart, deux cordes vocales, l'une externe, l'autre interne. Les trois premiers an-

neaux des bronches ont une configuration spéciale. Savart en a décrit très-exactement et figuré les formes. Le long de la face interne du troisième anneau existe, chez les Oiseaux chantans, un cordon membraneux, formé d'une substance particulière, élastique, à ce qu'il paraît, qui est la lèvre externe de la glotte. Le pourtonr extérieur des anneaux pent s'élever, s'abaisser, décrire des arcs, notamment le troisième, dont les extrémités servent pour cela de points fixes, en sorte que le cordon ou tendon dont il vient d'être parlé, forme l'axe des mouvemens de chaque cartilage. En dedans, la paroi de la glotte, ou la lèvre interne, est formée, chez les Oiseaux chanteurs, par un petit cartilage (cartilage aryténoïde), et par des bourrelets de même substance que celle qn'on trouve à la lèvre externe. Ces bourrelets sont enchâssés dans une paroi membraneuse (*membrane tympaniforme* de Cuvier), qui s'étend depuis les cartilages des bronches jusqu'à la traverse osseuse. Comme cette membrane se continue avec le repli semi-lunaire, celui-ci peut être tendu par elle. La *membrane tympaniforme* est extrêmement petite chez beaucoup d'Oiseaux, tels que les Canards et les Oies, de sorte que les anneaux des bronches ne tardent pas à être complets; chez les Oiseaux chanteurs, elle s'étend, d'après Savart, jusqu'aux quatrième et cinquième cartilages des bronches; c'est chez les Oiseaux susceptibles d'apprendre à parler qu'elle a le plus de longueur et que la paroi interne des bronches est le moins couverte d'anneaux cartilagineux. Des muscles, qui sont propres au larynx inférieur, peuvent attirer le premier cartilage des bronches, et tantôt rapprocher les lèvres de la glotte, tantôt les éloigner l'une de l'autre. Cuvier partage les Oiseanx en plusieurs classes, suivant le nombre de ces muscles. Chez les uns il n'y a pas de muscles spéciaux du larynx inférieur, et la trachée-artère ne peut qu'être considérablement raccourcie par la traction de haut en bas qu'exercent sur elle les muscles sterno-trachéaux et ypsilo-trachéaux. Les

Oiseaux qui appartiennent à cette catégorie sont les Oies et les Canards parmi les Palmipèdes, ainsi que les Gallinacés. Parmi les Palmipèdes, les Canards et les Harles ont des dilatations au larynx inférieur, et celui-ci se distend, chez les mâles, en un gros tambour non symétrique, en partie osseux, en partie membraneux, qui produit évidemment le timbre particulier propre à la voix des individus mâles. Parmi les larynx munis de muscles spéciaux, il y a plusieurs groupes. Les Accipitrins, les Foulques, les Râles, les Bécasses, les Chevaliers, les Poules d'eau, les Avocettes, les Mouettes, le Cormoran, le Martin-pêcheur, l'Engoulevent, le Héron, le Butor, le Coucou, n'ont qu'un seul muscle pour attirer les demi-anneaux cartilagineux vers la trachée-artère. Tous ces Oiseaux ont une voix peu variée. Il y a cinq paires de muscles chez les Oiseaux chanteurs, et trois muscles seulement dans le Perroquet, sur le larynx duquel j'insisterai.

La glotte est simple chez les Perroquets, et ne présente pas la traverse médiane qui existe chez les autres Oiseaux. Humboldt avait déjà donné une figure du larynx inférieur du *Psittacus ararauna*. Les parties essentielles de l'organe vocal sont les suivantes : sur les bords latéraux et inférieurs concaves du tympan se trouvent deux cartilages ou os semi-lunaires, dont les sommets sont un peu recourbés chez quelques Perroquets ; un autre cartilage semi-circulaire, situé vis-à-vis de celui-là, forme le commencement de la bronche ; entre les deux on aperçoit une membrane qui est tendue dans toute la partie embrassée par le demi-cercle supérieur. La membrane qui réunit le demi-cercle supérieur et l'inférieur, forme un angle saillant en dedans ; les deux angles du côté opposé ferment la glotte. Quand on tire la bronche de bas en haut, l'angle devient plus aigu, et fait plus de saillie en dedans ; et comme les angles des deux côtés se rapprochent, la glotte devient plus étroite. Deux muscles servent à produire ce mouvement de la bronche. Lorsque les deux angles sont aussi rapprochés

que possible, la glotte se trouve réduite à une fente très-étroite. La dilatation de la glotte est opérée par un muscle qui tire de dedans en dehors les cadres semi-circulaires supérieurs de la membrane. Ces cadres semi-circulaires supérieurs forment, avec le bord inférieur du larynx, une sorte de fausse articulation, et se meuvent de dehors en dedans et de dedans en dehors, comme deux ventaux; les membranes tendues dans leur intérieur suivent ce mouvement. Le bord que l'air frappe immédiatement est l'angle compris entre la membrane tendue du ventail demi-circulaire supérieur et la membrane lâche, jusqu'au premier cartilage semi-circulaire bronchial. A la face interne du bord de cet angle, on remarque, chez quelques Perroquets, une bandelette membraneuse, que le vent fait vibrer la première; après quoi la contraction se communique aux membranes semi-circuulaire supérieure et inférieure qui forment le pli anguleux.

La trachée-artère des Oiseaux forme, avec le bec, le corps de tuyau ajouté au devant du larynx. Elle peut être singulièrement raccourcie par le rapprochement de ses anneaux, et même par leur emboîtement les uns dans les autres. Les trachées-artères de quelques Oiseaux ont plus de longueur que le cou, à cause de leurs flexuosités; telles sont celles du Coq de bruyère, des Pénélopes, des Hérons, Cigognes et Grues, surtout chez les mâles. Chez le Cygne sauvage, la trachée-artère décrit même une circonvolution dans la substance du sternum. Je renvoie à l'ouvrage de Cuvier pour la description particulière de cet organe. Il partage les trachées-artères en quatre ordres, les cylindriques, les coniques, celles qui ont des renflemens subits, celles qui se renflent et se rétrécissent par degrés insensibles. Le Héron et le Cormoran ont des trachées coniques, qui s'élargissent peu à peu du côté de la bouche. La trachée est subitement renflée dans le Garrot, la double Macreuse, et aussi le Kamichi, d'après Humboldt.

On trouve des renflemens adoucis dans le genre des Harles et chez les Canards mâles.

Je ne suis entré ici dans les détails de l'anatomie comparée des organes vocaux, qu'autant qu'il était absolument indispensable de le faire pour l'intelligence de la partie physiologique.

2. *Théorie de la voix des Oiseaux.*

Cuvier a prouvé que la voix des Oiseaux se produit au larynx inférieur. Il a vu un Merle, une Pie, une Cane conserver la faculté de crier après la section de la trachée-artère. Il boucha la partie supérieure de cette dernière, et lia le bec, sans que les cris changeassent; il coupa même le cou d'une Cane, qui n'en jeta pas moins encore quelques cris. A ces expériences, qui donnent le même résultat toutes les fois qu'on les répète, viennent se joindre celles qu'on fait sur le larynx inférieur extirpé du corps. Quand on souffle dans les bronches d'un Canard, on produit exactement la voix naturelle de l'oiseau. La même chose a lieu en soufflant dans la trachée-artère de l'Oie et du Canard; on peut même enlever les bronches; pourvu que la portion de la membrane bronchiale qui est fortement tendue au bord inférieur du tambour, subsiste encore, on obtient des sons. D'après la théorie de Cuvier, l'allongement et le relâchement de la membrane tympaniforme rendent le son plus grave; son raccourcissement et sa tension le rendent plus aigu. A ces deux sources de modifications se joignent les changemens de largeur de l'ouverture, et les différentes vitesses de l'air qui en résultent; mais tant qu'il n'y a que l'anche de changée, et que la longueur de la trachée et son orifice supérieur restent les mêmes, les variations des sons sont bornées aux harmoniques des sons graves. Ainsi, en appelant *ut*, le son fondamental produit par le plus grand allongement et relâchement possible de l'anche, l'Oiseau ne pourra donner, en la raccourcissant, que l'octave,

la quinte de cette octave, la double octave, sa tierce et sa quinte, la triple octave et ainsi de suite.

Cette opinion repose évidemment sur un malentendu; car les membranes tendues dans un seul sens changent de sons en raison inverse de leur longueur et directe des racines carrées des forces tensives, et la tension peut être conçue dans toute fraction comprise entre 1, 4, 16; tous les tons intermédiaires entre 1 et 2 doivent être possibles aussi, et non pas seulement les harmoniques. Si Cuvier n'avait point pensé à la tension des lèvres, mais seulement à la largeur de l'anche, la comparaison qu'il fait de l'organe vocal des Oiseaux avec un tuyau à bouche serait demeurée exacte; mais, en comptant sur les vibrations des ligamens de la glotte, il confondit l'anche d'un jeu d'anche avec celle d'un tuyau à bouche, qui, lorsqu'on souffle plus fort, donne les sons 2, 3, 4, 5, 6. Cuvier fait produire les sons non harmoniques par le raccourcissement de la trachée-artère. En raccourcissant sa trachée d'un neuvième, l'Oiseau, dit-il, produit, toutes choses égales d'ailleurs, le premier ton entier au dessus du son fondamental; puis il n'a plus qu'à raccourcir seulement l'anche, sans changer la trachée de longueur, pour produire tons les sons harmoniques de ce second son. Pour monter par ce moyen d'ut_2 à ut_1, il faudrait que la trachée se raccourcît de près de moitié, ce qui n'est guères possible; le reste est donc produit par la diverse largeur de l'ouverture du larynx supérieur, de même que les sons d'un sifflet bouché deviennent plus aigus à mesure qu'on abaisse le couvercle; de cette manière on parvient à gagner encore près d'une octave dans l'organe vocal des Oiseaux. En comparant ensuite cet organe au cor, le grand naturaliste retombe dans le même défaut de confondre ensemble les tuyaux à bouche et les jeux d'anche, auxquels les cors appartiennent, parce que l'ébranlement de la colonne d'air est déterminé par des languettes membraneuses, les lèvres. Mais dans un jeu d'anche les sons ne changent pas,

comme dans les tuyaux à bouche, en raison de la longueur des colonnes d'air; leurs changemens ont lieu en vertu de lois toutes différentes.

Savart compare l'organe vocal des Oiseaux, comme celui de l'homme, à un tuyau à bouche. Par conséquent, il regarde l'air comme le corps à proprement parler sonore, de sorte que l'anche placée au larynx inférieur serait analogue à un tuyau à bouche et non à un tuyau à anche. Cependant Savart a fait voir que, dans cette supposition, les parois de la trachée-artère n'en doivent pas moins exercer une grande influence sur le son de la colonne d'air. Il compara ensemble les sons produits par des tuyaux à bouche d'égale longueur et de semblable largeur, mais de substance diverse. Tous avaient un pied de long, et neuf lignes de diamètre, à la lumière. Le résultat fut qu'un sifflet formé avec douze feuilles de papier collées l'une sur l'autre, et dont les parois présentaient une épaisseur de trois quarts de ligne, a déjà un nombre de vibrations un peu différent de celui d'un sifflet en bois, et que le son peut s'abaisser de plus d'une octave lorsque la rigidité des parois diminue beaucoup, surtout par humectation : alors les parois du sifflet entrent en vibration, et influent à leur tour sur le son de la colonne d'air.

Savart cherche à renverser l'opinion qui représente l'organe vocal des Oiseaux comme l'analogue d'un tuyau à anche, en faisant remarquer que le son d'une anche ne change pas considérablement lorsqu'on souffle plus fort, tandis que, d'après ses expériences, on peut, en variant la vitesse du courant d'air, sur un larynx d'Oiseau chanteur, produire tous les sons possibles compris dans une octave et demie à partir du son fondamental. Je regarde comme une chose totalement dénuée de preuve que l'organe vocal des Oiseaux soit réellement un tuyau à bouche. L'objection de Savart n'est point décisive; car j'ai fait voir qu'en opérant sur des anches à languettes membraneuses en caoutchouc, on peut élever les

sons de quelques tons au moyen d'un souffle plus fort, qu'avec des languettes en tunique d'artère cette élévation s'étend à tous les tons compris dans la quinte, que le son des cordes vocales du larynx humain peut être élevé de tous les tons renfermés dans la quinte, et qu'un effet identique, quelque chose même de plus, a lieu lorsqu'on opère sur des languettes métalliques, pourvu que la languette soit assez mince. J'ai pu élever de plus d'une demi-octave les sons des languettes métalliques minces de la trompette des enfans, et, en soufflant plus fort, parcourir tous les tons possibles dans l'étendue d'une octave et demie. Le résultat est demeuré le même que je soufflasse par l'ouverture de la trompette ou par la pièce qui renferme l'anche. En étudiant les languettes métalliques, on s'est trop attaché aux languettes épaisses des tuyaux d'orgue, dans lesquels la vitesse ordinaire du courant d'air n'est point assez forte pour élever le son.

Il me paraît extrêmement difficile, et pour le moment presque impossible, de décider si les sons de l'organe vocal des Oiseaux se produisent d'une manière analogue à ceux des tuyaux à anche et de l'organe vocal humain, ou à ceux des tuyaux à bouche, et si les lèvres de la glotte des Oiseaux vibrent, ou si c'est la colonne d'air qui entre en vibration par l'effet du frottement que le courant éprouve en les traversant. L'organe vocal simple d'un grand nombre d'Oiseaux, par exemple, des Canards et des Oies, est indubitablement un tuyau d'anche. Non seulement on voit les vibrations violentes du ligament extérieur de la glotte, mais encore le son a la plus grande analogie avec celui qui résulte des vibrations de membranes. On en peut dire autant de tous les Oiseaux dont la voix a un son de membrane, tels que les Corbeaux, qui, cependant appartiennent déjà aux Oiseaux chanteurs. La longueur de la trachée-artère de l'Oie n'exerce non plus, quand on souffle par les bronches, qu'une influence très-subordonnée sur le changement du son, et que ce tuyau soit

très-court ou long, on n'en obtient pas moins le son caractéristique de l'animal. Mais c'est une autre question que celle de savoir si le son sifflant des Oiseaux chanteurs doit aussi prendre place ici, s'il ne se produit pas plutôt de la même manière que ceux du sifflement avec la bouche. La comparaison avec un instrument à anche me paraît être la plus vraisemblable. D'abord il n'est pas possible que les lèvres de la glotte n'entrent point en vibration quand les muscles agissent d'une manière déterminée, et quoiqu'une part revienne au frottement de l'air, il doit, en tout cas, s'établir une compensation entre les vibrations de l'air et celles des ligamens de la glotte; mais, dès-lors, l'organe vocal des Oiseaux n'appartient plus entièrement à la classe des tuyaux à bouche, et il renferme en même temps un élément des tuyaux à anche. Ensuite, quand, au moyen d'un tube introduit dans l'une des bronches, je souffle à travers le larynx inférieur seul, c'est-à-dire débarrassé de la trachée-artère, je produis des sons, qui ne changent point lorsque, sans rien changer à la force du souffle, je place un petit tuyau au devant du larynx. Dans l'Oie, la longueur de la trachée-artère n'influe que très-peu sur le son du larynx inférieur, comme le tube ajouté au tuyau à anche de l'homme. Le plupart des changemens des sons peuvent être produits, sur le larynx des Oiseaux, en modifiant la force du souffle, comme l'a fait voir Savart.

La trachée-artère peut modifier le son comme dans un tuyau à bouche, ce qui ne me paraît pas probable, ou comme dans le corps d'un tuyau à anche. Son ouverture au larynx supérieur peut, en se rétrécissant, le rendre plus grave, comme il arrive dans les tuyaux à bouche et dans les tuyaux à anche.

La membrane tympaniforme, qui vibre violemment, doit influer sur le son de l'embouchure, et il doit y avoir accommodation entre la lèvre interne de la glotte, la membrane sémilunaire et la membrane tympaniforme. Cette dernière ressemble à la pellicule vibrante d'un mirliton.

(Depuis l'impression de son *Traité de physiologie*, M. Muller a publié des recherches sur la voix des Oiseaux, qui doivent naturellement trouver place ici.)

Je produis des sons très-forts avec l'organe vocal du *Psittacus ararauna*, que je souffle dans la trachée-artère ou dans les bronches. Dans ce dernier cas, les sons ont la plus complète ressemblance avec le cri perçant des Perroquets.

Cet organe vocal convient mieux que celui d'aucun autre Oiseau pour faire des expériences, parce que tout y est solide. On est maître de rapprocher et d'éloigner du larynx les ventaux qui se meuvent comme dans des articulations. Rien ici ne cède : la trachée elle-même est très-solide, et peut en outre se raccourcir de moitié.

Chez les petits Oiseaux chanteurs, qui ont une voix plus étendue, on ne saurait faire des expériences sur le résultat desquelles on puisse compter, à cause de la grande mobilité des parties, et l'on ne sait jamais jusqu'à quel point un effet qu'on produit dépend de telle ou telle autre circonstance accessoire. Quant au larynx des gros Perroquets, on peut le fixer et soumettre avec certitude toutes les influences au contrôle. En accroissant successivement la pression de l'air, je suis parvenu, sur cet organe, à élever le son d'une manière successive jusqu'à une quinte et plus.

En soufflant par la trachée-artère, j'ai produit tous les sons possibles dans l'étendue de plusieurs octaves. Par exemple, le son fondamental du larynx, dans l'état de repos, et en soufflant aussi doucement que possible par la trachée-artère, était fa_2. Si je tirais les muscles qui rapprochent les ventaux, c'est-à-dire qui rétrécissent la glotte, le son pouvait, suivant la force du souffle, s'élever successivement, et sans tous les intervalles, de fa_2 à ut_4. Cet effet a lieu plus facilement encore au moyen de la compression des ventaux, soit qu'on presse entre les doigts le point du larynx avec les muscles qui le recouvrent, soit qu'on se serve du compresseur, dont alors on

accroît l'action en serrant la vis. On peut même, à l'aide d'une disposition particulière, mesurer cette pression avec des poids.

SONS.	POIDS.
ré$_4$	0,25 loth, poids du plateau et du cordon.
ré$\sharp_4$	0,45
mi$_4$	0,55
fa$_4$	1,25
fa$\sharp_4$	1,75
sol$_4$	2,25
sol$\sharp_4$	3,25
la$\sharp_4$	3,75
si$_4$	4,25
ut$_5$	5,25
ut$\sharp_5$	6,25
ré$_5$	7,25
ré$\sharp_5$	8,25
mi$_5$	9,25—10,25.

Dans cette élévation, les effets de la pression sur le larynx et ceux de la pression ascendante de l'air se combinent ensemble. La compression des valvules au dessus de la glotte, non seulement rétrécit cette dernière, mais encore rend plus tranchantes et plus tendues les lèvres qui sont formées par les angles de la membrane tendues entre le cartilage semi-circulaire supérieur et l'inférieur. Mais, plus la glotte devient étroite, plus aussi il faut que la pression de l'air augmente pour faire sortir le son fondamental des lèvres. Cette pression plus forte de l'air doit être prise en considération dans l'élévation; car, à égalité de pression sur les lèvres, si l'on accroît

successivement la pression de l'air, on parvient sans peine à élever le son d'une quinte successivement et sans intervalles. Cette élévation est désagréable et bruyante ; mais, en faisant coïncider la compression latérale du larynx, on obtient purs encore les sons même les plus élevés.

Pour me convaincre que l'élévation des sons qui a lieu par la compression des valvules ne dépend point uniquement de l'accroissement de la pression de l'air, je la mesurai dans un cas où elle s'opérait par la compression croissante des lèvres, la tension de l'air restant la même. Pour cela, j'unis l'appareil manométrique à la trachée-artère du Perroquet, pendant que le larynx était dans le compresseur, et je cherchai à obtenir une moyenne de pression d'air uniforme, d'après l'indication du manomètre.

PRESSION ÉGALE DE L'AIR, COLONNE D'EAU DE :	POIDS DU COMPRESSEUR.	SONS.
16 centimètres.	3/4 loth.	*sol*$_4$
16	1 1/4	*sol*♯$_4$
16	2 1/4	*la*$_4$
16	3 3/4	*la*♯$_4$
16	5 3/4	*si*$_4$
16	8 1/4	*ut*$_5$

La pression de l'air seule, la compression des lèvres demeurant la même, produisait une élévation d'un semi-ton lorsque la tension de l'air s'élevait de quelques centimètres.

POIDS DU COMPRESSEUR.	PRESSION DE L'AIR, COLONNE D'EAU DE :	SONS.
2 1/4 loth.	10 centimètres.	sol_4
2 1/4	12	$sol\sharp_4$
2 1/4	16	la_4

Cuvier avait admis, d'après des suppositions théoriques, que le changement des lèvres de la glotte des Oiseaux peut produire les harmoniques ou les sons flûtés du son fondamental, comme l'octave, la quinte de l'octave, la double octave, sa tierce et sa quinte, l'octave suivante, etc. Mais il suit de mes expériences que tous les sons possibles et imaginables sont produits depuis un minimum jusqu'à un maximum, et non pas les harmoniques.

Quant à ce qui concerne le changement du son fondamental par la colonne d'air du tuyau, Cuvier avait admis une modification analogue à celle qui a lieu dans les flûtes, et supposé qu'un raccourcissement d'un neuvième de la trachée-artère portait le son du ton fondamental au ton venant immédiatement au dessus de lui dans l'échelle. Mes expériences font voir que ce raccourcissement agit absolument comme dans les instrumens à anche. Lorsque j'employais la trachée-artère à titre de porte-vent, de manière que l'organe vocal fût à l'extrémité libre, si je réduisais de moitié cette trachée-artère longue de quatre pouces, je produisais tantôt un abaissement, tantôt une élévation d'un semi-ton, suivant les sons d'où je partais. En effet, quand un allongement de la colonne d'air qui rend le son plus grave correspond déjà au son fondamental des ligamens, un allongement plus considérable fait ressauter au son fondamental plus aigu des ligamens. On doit donc s'attendre à ce que d'autres rapports entre le porte-vent

et le son des ligamens auraient donné lieu aussi à des effets directement inverses.

Lorsque je prenais le larynx inférieur dans la bouche, et que la trachée-artère devenait corps d'instrument, le son pouvait être élevé à la quinte en réduisant le tuyau à la moitié de sa longueur. L'obturation partielle de la trachée-artère par le doigt abaissait le son d'un semi-ton, résultat que j'ai observé aussi avec les anches en caoutchouc, et que l'on connaît dans les trompettes et les cors, qui sont aussi des instrumens à anche. Je crois inutile de varier davantage les expériences avec des corps de tuyau artificiels, ayant déjà décrit les phénomènes auxquels on donne lieu par ce moyen sur les larynx artificiels.

On peut partager les sons que les Oiseaux produisent, en sons d'anche et sons de flûte. Ces derniers ne s'observent que chez quelques uns des petits Oiseaux chanteurs, comme le Rossignol, etc. Dans tous les autres, les sons sont ceux des anches, par exemple chez les Palmipèdes, les Gallinacés, les Corbeaux, les Perroquets. Il en est de même du gazouillement et du sifflement de la plupart des Oiseaux chanteurs.

Il n'y a point de faits pour admettre que les sons flûtés de plusieurs Oiseaux, par exemple le *tio*, *tio*, *tio* du rossignol, puissent dépendre des vibrations de l'air et se produire en conséquence d'après la théorie de Savart. J'avoue franchement que quoique, dans mes expériences sur l'organe vocal du Rossignol et de la Grive, j'aie bien produit le sifflement et le gazouillement ordinaire des Oiseaux chanteurs, avec une grande force, au moyen des vibrations des ligamens de la glotte, cependant je n'ai pu obtenir des sons aussi pleins que ceux du chant des Rossignols. Les sons du sifflement chez l'homme proviennent uniquement des vibrations de l'air pendant qu'il traverse la bouche ; pourquoi la colonne d'air de la trachée-artère des Oiseaux ne pourrait-elle pas aussi entrer en vibration quand l'air la traverse? Mais il faut réfléchir

que nous ne connaissons encore aucun fait attestant que des sons se produisent réellement ainsi chez les Oiseaux chanteurs; car l'élévation des sons par un souffle plus fort est aussi une propriété des anches membraneuses. Nous ignorons les conditions qui font que l'air traversant un tube exécute des vibrations dépendantes de lui seul et non d'une languette. Toutes les expériences que j'ai faites pour m'éclairer à cet égard, sont demeurées sans résultat. Autant il est facile de faire résonner les colonnes d'air des tubes lorsqu'on souffle au dessus de l'ouverture, et que l'air renfermé dans le tube n'exécute pas un mouvement de translation, autant il est difficile de faire résonner l'air dans un tuyau, en soufflant à travers. Il est vrai qu'on obtient des sons sifflans dès qu'une membrane mince se trouve à l'extrémité du tube, ne fût-ce qu'une étroite languette; mais ces sons ne tiennent pas à la longueur de la colonne d'air; ils dépendent de la tension de la membrane, et la colonne d'air qui vibre simultanément n'exerce qu'une influence subordonnée sur l'élévation du son, elle n'en a une bien marquée que sur son éclat. L'organe vocal de la plupart des Oiseaux chanteurs est dans ce cas. Les sons sifflans, gazouillans, sont de même sorte que ceux qu'on obtient avec des appareils, et j'ai acquis la conviction qu'ils dépendent principalement des cordes vocales; ils se rangent donc aussi parmi les sons d'anche, d'après les principes que j'ai posés à l'égard des causes de ces derniers sons, et de la nature et des différences des anches.

Il est nécessaire de rapporter d'abord quelques expériences sur les sons sifflans et gazouillans d'une membrane dans des appareils artificiels analogues à ceux dont Savart s'est servi. Le procédé suivant est celui qui m'a paru le plus convenable. On prend des tubes de verre d'une longueur arbitraire, mais dont la lumière ait trois à quatre millimètres de diamètre, et on les use obliquement à l'une de leurs extrémités. Sur ce bout oblique on tend un petit morceau de bau-

druche; de sorte que la membrane bouche une plus ou moins grande partie de l'ouverture, le sommet excepté. L'ouverture qui reste doit varier de grandeur sur les divers tubes; elle a le quart, la moitié, les deux tiers de la lumière totale. Quand on souffle par l'autre extrémité, de manière que le courant d'air frappe sur le plan oblique de la membrane, on obtient de beaux sons sifflans et très-aigus, dès que le bord libre de la membrane, au devant duquel l'air passe, est humide. Ces sons ont la plus grande analogie avec ceux de très petits sifflets, comme aussi avec le sifflement et le gazouillement des Oiseaux chanteurs. L'ouverture ménagée au bord libre de la membrane peut être fort grande, comme on voit; les sons sortent encore lorsqu'il y a une moitié et plus de la lumière qui reste ouverte. Mais je puis soutenir de la manière la plus formelle que, malgré leur caractère sifflant, ces sons sont des sons d'anche, car je me suis convaincu que leur élévation tient uniquement à la tension de la membrane, et non à la longueur du tube. On peut raccourcir ce dernier ou l'allonger à volonté; on peut même le réduire au minimum; le son sifflant de la membrane n'en persiste pas moins toujours en rapport avec la tension de cette dernière. Si la membrane était seulement cause de la mise en mouvement, par le courant d'air, de la colonne aérienne contenue dans le tube, le son correpondrait à la longueur des tubes. Il est vrai que, dans les instrumens à anche, la vibration simultanée de la colonne d'air influe sur la hauteur du son, et que des tuyaux ajoutés rendent le son de l'anche plus grave; mais cet abaissement a des limites, tandis que, dans les flûtes, où l'air seul résonne, il est illimité, et croît avec la longueur de la colonne d'air. On sait, d'après les recherches de G. Weber, que les colonnes d'air covibrantes n'abaissent le son des languettes solides que d'une octave, qu'en allongeant davantage ces colonnes, le son revient par un saut au son fondamental de la languette, et qu'à partir de ce point on peut encore l'abaisser

d'une octave. Les anches à languettes membraneuses se comportent exactement de la même manière, comme je l'ai fait voir. Cependant il arrive souvent qu'on ne peut obtenir que bien moins qu'une octave. Il m'a quelquefois été impossible, sur les languettes en caoutchouc, d'obtenir le moindre abaissement par des colonnes d'air covibrantes, parfois aussi je n'en ai obtenu qu'un d'un semi-ton. Ce dernier cas a lieu dans l'organe vocal humain, ce dont je me suis assuré à différentes reprises, et il en est de même avec les petits tuyaux d'anche dont la membrane est en baudruche. Il m'est souvent arrivé de n'obtenir aucun changement du son de l'anche en allongeant ou raccourcissant le tuyau depuis le maximum jusqu'au minimum, et quelquefois je n'ai observé qu'une différence d'un semi-ton. Par contre, dans certains cas, le tuyau ajouté a renforcé beaucoup l'éclat du son, surtout quand j'introduisais le petit tube garni de baudruche dans un autre tube de verre très-court, mais un peu plus large : alors le son prenait un caractère perçant, sans changer de ton. Le son de la membrane était plus fort aussi quand je dirigeais obliquement deux courans d'air sur les faces opposées de cette membrane.

Les expériences sur le larynx des Oiseaux chanteurs donnent des résultats fort analogues. J'ai trouvé que l'organe vocal du Merle était celui qui convenait le mieux pour cela. Les Oiseaux chanteurs de la plus petite taille offrent trop de difficultés à la manipulation, à cause de la petitesse de leur organe vocal. Le larynx du Merle, qui ressemble à celui du Rossignol et des autres Oiseaux chanteurs, est suffisamment connu d'après les recherches de Savart. La partie la plus importante est le ligament vocal externe, cordon élastique situé au côté interne du troisième cartilage bronchial. La saillie qu'il forme peut être accrue par le mouvement des premiers anneaux bronchiaux, du troisième principalement, et la rotation du troisième demi-anneau, que Savart a observée, est surtout importante. La membrane semi-lunaire sur la traverse

de la bifurcation de la trachée, qui dirige son bord libre vers cette dernière, paraît aussi avoir de l'importance, mais moins que le ligament vocal externe, ce dont on juge en observant les vibrations, qu'on peut voir toutes deux d'avant en arrière, lorsqu'on coupe la trachée immédiatement au devant du larynx inférieur. On s'aperçoit alors que les cordes vocales sont poussées en avant par le souffle sorti d'une des bronches, et qu'elles font de très-grandes excursions, tandis que les vibrations de la membrane semi-circulaire sont très-faibles.

Il suffit de souffler par une des bronches dans laquelle on a introduit une canule, l'autre étant bouchée, ou demeurant en communication avec son poumon. Les sons sifflans qu'on obtient sont assez forts et parfaitement semblables à ceux que produisent les appareils artificiels dont j'ai donné la description. Ils sortent plus facilement lorsque l'on comprime un peu de dehors en dedans la paroi externe du commencement de la bronche. La hauteur du son augmente quand on accroît cette pression, de même aussi que quand on refoule la bronche vers le larynx inférieur. De cette manière on peut, comme chez le Perroquet, obtenir la plupart des différences de son. Quand je raccourcissais la colonne d'air, en retranchant une partie de la trachée, des sons absolument semblables se faisaient entendre encore, mais ils n'avaient plus autant d'éclat; il en était de même après l'ablation totale de la trachée jusqu'au larynx inférieur, et alors il était encore possible de faire changer les sons en suivant le procédé que j'ai décrit. J'ai essayé d'allonger la trachée, et avec elle la colonne d'air, par l'addition de petits tubes en verre, mais la grande mobilité des parties ne m'a point permis d'arriver à des résultats certains. Cependant il n'est pas douteux que les vibrations simultanées de la colonne d'air exercent la même influence que chez le Perroquet, seul Oiseau chez lequel les expériences puissent conduire à la certitude, en raison de la grosseur des parties et de la facilité

qu'on a de fixer la situation des cordes vocales par le moyen de l'appareil que j'ai fait connaître.

L'air ne parle jamais mieux dans l'organe vocal des Oiseaux chanteurs, que quand on souffle avec les buccinateurs, comme le font ceux qui sonnent du cor.

Le Casoar de la Nouvelle-Hollande rend des sons bourdonnans, sourds, interrompus, et qui se répètent de temps en temps. Le mécanisme en est encore inconnu ; mais ces sons se rattachent sans doute à la conformation particulière de la trachée, qui s'ouvre, par le moyen d'une fente, dans un grand sac. Il n'y a rien à la bifurcation de l'extrémité inférieure de la trachée-artère qui puisse les expliquer.

Quant aux dilatations de la trachée du Merle et du Canard mâle, on peut déterminer avec assez de vraisemblance l'influence qu'elles exercent sur le son du larynx inférieur. Elles doivent agir sur les sons d'anche de ce larynx absolument comme le feraient des trachées plus longues sans dilatations. Car je trouve les sons fondamentaux des colonnes d'air de ces trachées dilatées plus graves que ceux de trachées non dilatées d'une égale longueur. J'ai comparé ensemble les sons fondamentaux des colonnes d'air de deux trachées desséchées sans larynx supérieur ni inférieur. Toutes deux avaient la même longueur, sept pouces et demi ; toutes deux avaient trois lignes de large, à l'exception des dilatations de l'une. L'une était uniformément cylindrique : l'autre avait deux dilatations fusiformes considérables. Étant couvertes, la première donnait *la*$_3$, et la seconde *ré*$\sharp_3$; étant ouvertes, la première donnait *la*$_4$, et la seconde *ré*$\sharp_4$.

VI. Voix des Poissons.

Les Poissons qui font entendre des sons étaient déjà connus d'Aristote (1). Ce sont ceux qu'il nomme *Lyra*, *Chromis*, *Ca-*

(1) *Hist. animal.*, lib IV, cap. 9.

pros, *Chalcis*, *Coccyx*, qu'on rapporte aux genres *Trigla*, *Cottus*, *Sciæna*, *Pogonias* et autres. Il est difficile d'assigner un principe commun pour la production de ces sons. Les Sciénoïdes et les Trigles possèdent une vessie natatoire, qui a souvent des prolongemens en cæcum et des muscles à sa partie moyenne; mais les *Cottus* sont dépourvus de vessie natatoire. On ne voit pas non plus comment la compression de cette vessie pourrait donner lieu à des sons. La *Sciæna aquila*, qui rend aussi des sons, à ce qu'on assure, manque de muscles à sa vessie natatoire, et celle-ci est dépourvue d'appendices chez plusieurs Trigles. La vessie natatoire des *Sciæna aquila*, *Trigla gurnardus* (qui a des cæcums), et *Trilineata* (qui n'a pas de cæcums), ne m'a rien offert, ni à l'extérieur, ni dans l'intérieur, qui puisse donner lieu à la formation de sons. La première chose à faire serait de rechercher si l'un de ces Poissons fait entendre dans l'eau les sons qu'on lui attribue. On assure de tous qu'ils n'en produisent que hors de l'eau, quand on les comprime. Mais l'animal peut alors avaler de l'air, et les sons dépendre de la même cause que les borborygmes chez l'homme. On dit que les Sciènes et les *Pogonias* font entendre des sons dans l'eau; mais le fait n'est pas encore suffisamment constaté.

CHAPITRE III.

De la parole.

Outre les sons ayant une valeur musicale qui sont produits dans l'organe vocal, il est une multitude de sons et de bruits qui naissent dans le tuyau annexé à cet organe, et qui constituent la parole par leurs associations diverses, dont certaines servent à désigner des objets, des qualités, des actions, des rapports. Les langues n'emploient pas tous les sons qui peuvent être engendrés de cette manière, parce qu'il s'en trouve, parmi eux, qu'on aurait de la peine à unir avec d'autres. La majeure partie de ceux dont l'association présente le plus de facilité se rencontrent dans la plupart des idiomes. Chaque

langue renferme un certain nombre de ces sons possibles, mais aucune ne les contient tous, et les différences caractéristiques qui existent entre elles tiennent à ce qu'elles emploient plus particulièrement les uns, tandis qu'elles font rarement usage des autres, ou même ne s'en servent point.

C'est à la physiologie qu'il appartient de rapporter les sons de la parole à un système naturel. Les tentatives des grammairiens à cet égard ont échoué, parce qu'ils avaient établi leurs classifications sur des qualités qui ne sont point essentielles. En effet, la distinction des sons de la langne parlée d'après les organes qui sont censés les produire, est vicieuse, parce qu'elle en réunit qui diffèrent totalement les uns des autres suivant les principes de la physiologie, et parce que plusieurs parties de la bouche concourent à la production de la plupart d'entre eux. C'est le défaut qu'on peut reprocher à la division en sons labiaux, dentaux, gutturaux et linguaux, à celle même, beaucoup plus simple, en sons oraux et nasaux. Il y a quelque chose d'exact au fond dans la distinction qu'on a établie pour les sons muets et pour les sons mouillés; mais on en fait une mauvaise application. Les propriétés mêmes des voyelles, par opposition aux consonnes, n'ont point été appréciées d'une manière convenable. Généralement, on fait consister leur essence en ce qu'elles ne sont pas muettes, en ce qu'elles ne se réduisent pas à de simples bruits, comme les consonnes, mais doivent naissance à des sons qui se produisent dans l'organe vocal et sont modifiés par la bouche. Cependant la différence entre les voyelles et les consonnes est bien moins considérable; car il est possible, pour toutes les voyelles, comme pour les consonnes, de les rendre muettes, de les réduire à de simples bruits, ainsi qu'il arrive quand on parle à voix basse; les voyelles sonnantes ne sont donc dues qu'à la consonnance de la voix. Mais il y a aussi, comme nous ne tarderons pas à le voir, une classe entière de consonnes qui peuvent également, ou être muettes et ne consister qu'en

de simples bruits, ou sortir avec consonnance de la voix. En s'attachant à l'essence des voyelles et des consonnes, la différence entre elles est tout autre. Un vice capital de plusieurs essais d'une classification naturelle des sons de la parole tien à ce qu'on ne s'est point assez attaché à la possibilité de leur formation sans intonation, au caractère de simple bruit qu'ils sont susceptibles de revêtir. Pour en bien apprécier les propriétés, il faut prendre le parler à voix basse, ou le chuchotement, pour point de départ, et rechercher ensuite quelles sont les modifications qui peuvent dépendre de l'addition du son proprement dit, ou de l'intonation. En suivant cette marche, on arrive à établir deux séries; dans l'une, les paroles sont muettes et absolument incapables de s'unir à la voix; dans l'autre, elles sont également aptes à être rendues muettes et à s'allier avec la voix. Une autre différence importante entre les sons de la parole consiste en ce que les uns, produits par un changement brusque de la position des parties de la bouche, ne durent qu'un moment, et ne peuvent être prolongés ou soutenus (*strepitus incontinuus explosivus*), tandis que d'autres sortent sans que la situation des parties de la bouche change, et peuvent être prolongés à volonté, autant que le permet la portée de l'haleine (*strepitus continuus*). Tous les sons de la première espèce sont absolument muets et incapables de s'associer avec l'intonation, au lieu que presque tous ceux de la seconde espèce peuvent s'allier avec elle. De cette dernière combinaison résultent des modifications particulières, tandis que les sons absolument muets ou explosifs sont susceptibles de subir une transformation lorsqu'ils s'unissent à une aspiration (1).

(1) Consultez, sur la parole : J. WALLIS, *De loquela s. sonorum formatione*; dans C. AMMAN, *Surdus loquens*, Leyde, 1727. — KRATZENSTEIN, *Tentamen resolvendi problema ab. Acad. sc. Petrop.*, 1780 *propos.* — KEMPELEN, *Mechanismus der menschlicher Sprache, nebst der Beschreibung seiner sprechender Maschine*, Vienne, 1791. — REITTER, *Methodenbuch*

A. *Système des sons muets de la parole à voix basse.*

I. **Voyelles muettes.**

a, *e*, *i*, *o*, *ou*, *oe*, *ae*, *u*, et les voyelles nasales *a*, *ae*, *oe*, *o*. Toutes ces voyelles peuvent être prononcées d'une manière bien distincte sous la forme de simples bruits. La question est de savoir si, comme voyelles muettes, elles ressemblent aux consonnes muettes, ou si elles en diffèrent, physiologiquement parlant. Les consonnes muettes ne naissent que dans le tuyau placé au devant de l'organe vocal, c'est-à-dire dans la cavité orale et nasale ; ce sont des bruits engendrés par l'air qui parcourt le canal diversement modifié. Mais les voyelles muettes se comportent d'une manière différente jusqu'à un certain point : quoiqu'ici non plus la voix ne résonne point, cependant la cause première est dans la glotte, et non dans la bouche, ainsi qu'on peut s'en convaincre aisément par des expériences sur soi-même. Le bruit qui forme une voyelle muette naît, à ce qu'il paraît, lorsque l'air passe le long des cordes vocales, qui néanmoins ne résonnent pas pour cela. Il ne diffère de celui qu'on parvient à produire dans la glotte, en fermant la bouche, ouvrant le nez, et évitant d'émettre aucun son proprement dit, que parce que, quand la bouche est ouverte, la forme diverse que le canal oral prend le modifie de manière à ce qu'il devienne les sons muets *a*, *e*, *i*, *o*, *ou*.

La forme du canal oral est la même pour les voyelles muettes et pour les voyelles prononcées à haute voix. La seule

zur Unterricht fuer Taubstumme, Vienne, 1828.—RUDOLPHI, *Physiologie*, t. II.—CHLADNI, dans GILBERT' *Annalen*, 1824.—C. MAYER, dans MECKEL'S *Archiv*, 1826. —R. SCHULTHESS, *Das Stammeln und Stottern*, Zurich, 1830. — DE GÉRANDO, *De l'éducation des sourd-muets de naissance*, Paris, 1827, 2 vol. in-8. — WILLIS, dans POGGENDORFF'S *Annalen*, t. XXIV. — PURKINJE, *Badania w przedmiocie fisyologie mowy ludzkiej*, Cracovie, 1836. — Consultez surtout A.-M RAPP, *Versuch einer Physiologie der Sprache*, t. I, 1836; t. II, 1839.

différence consiste en ce que, dans le second cas, la glotte, au lieu d'un simple bruit, produit un véritable son. Kratzenstein et Kempelen ont fait voir que les conditions requises pour la transformation d'un même son en voyelles différentes, se réduisent au degré d'ampleur de deux parties, le canal oral et le canal nasal. Il en est de même pour les voyelles muettes. Kempelen appelle canal oral l'espace compris entre le larynx et le palais. Certaines voyelles exigent que l'orifice buccal et le canal oral soient larges, d'autres que tous deux soient étroits, d'autres encore que l'un soit large et l'autre étroit. Si l'on admet, avec Kempelen, cinq degrés de largeur pour le canal oral, on a pour

a, largeur de l'orifice buccal	5; largeur du canal oral	3
e	4	2
i	3	1
o	2	4
ou	1	5

Les proportions pour les autres voyelles *ae*, *oe* et *u* sont faciles à trouver d'après cela.

Purkinje a montré que les conditions nécessaires pour la formation de quelques voyelles, notamment d'*a* et d'*e*, n'ont point été assignées d'une manière bien exacte par Kempelen. Ces deux voyelles dépendent principalement de la forme de l'espace compris entre la base de la langue et le pharynx; pour toutes deux, cet espace est grand, et il l'est plus pour *e* que pour *a*; mais *a* et *e* peuvent être prononcés avec la même ouverture de bouche. La position assignée aux lèvres pour l'émission de l'*o* n'est pas non plus nécessaire.

Auprès des voyelles pures viennent se placer les voyelles muettes à timbre nasal, *a*, *ae*, *o*, *oe*, par exemple dans les mots *sang*, *singulier*, *ombre*, *œuvre;* ces modifications ne dépendent que du rétrécissement du voile du palais et du soulèvement du larynx.

II. Consonnes muettes et soutenues.

La prononciation de toutes les consonnes qui se rangent ici peut être soutenue aussi long-temps que l'haleine le permet, les parties de la bouche conservant la même position au commencement, pendant la durée et à la fin. Ainsi on peut soutenir la prononciation de l'*f*, du *ch*, de l'*s*, de l'*r*, de l'*l*, etc. Il n'en est pas de même des consonnes explosives β, γ, δ, π, τ, κ; comme la position des parties de la bouche est tout autre au commencement que dans le milieu et à la fin de leur formation, elles ne peuvent durer qu'un moment, ou jusqu'à ce que le changement soudain des parties de la bouche se soit opéré.

Les consonnes soutenues sont *h*, *m*, *n*, *ng*, *f*, *ch*, *sch*, *s*, *r*, *l*.

On peut les ranger en trois classes :

1° *Consonnes soutenues orales, dont l'émission exige que le canal oral soit entièrement ouvert.* L'aspiration *h* appartient seule à cette classe. Ici la cause du bruit produit par le passage de l'air ne tient point à une opposition des parties de la bouche entre elles. Le bruit de l'aspiration est la plus simple expression de la résonnance des parois de la bouche pendant l'expiration de l'air. L'*h* manque à la langue italienne, si ce n'est dans un petit nombre de cas exceptionnels, tels que *ho*, *hai*, *has*, *hanno*. On peut consulter l'ouvrage de Purkinje et celui de Rapp sur l'emploi de l'aspiration dans les diverses langues.

2° *Consonnes soutenues nasales, dont l'émission exige que le canal nasal soit entièrement ouvert.* Ce sont *m*, *n*, *ng*. Ici l'air traverse tout simplement le canal nasal, la cavité orale étant close soit par les lèvres, soit par la langue appliquée au palais. Il n'y a point non plus opposition des parties entre lesquelles le fluide passe. Dans la prononciation de ces trois consonnes, la cavité orale représente un diverticule ou cul-de-sac plus ou moins long de l'arrière-gorge et du canal nasal. Ce diverticule

est plus grand pour *m* que pour *n*, et surtout que pour *ng*.

La bouche se ferme à l'aide des lèvres pour la prononciation de l'*m*. Quelques physiologistes, Rudolphi entre autres, sont partis de là pour ranger cette lettre parmi les labiales; mais elle n'est point une lettre labiale; ce n'est point l'acte de la fermeture de la bouche qui lui donne naissance; elle ne se forme qu'après cette occlusion, par le simple passage de l'air à travers le canal nasal, avec résonnance du cul-de-sac de la cavité orale.

Dans la prononciation de l'*n*, la bouche est fermée par la pointe de la langue, qui s'applique à la partie antérieure du palais.

Dans celle de l'*ng*, l'occlusion de la bouche a lieu un peu plus en arrière, par l'application du dos de la langue à la partie postérieure du palais. *Ng* n'est point une consonne double; c'est une émission de voix simple, tout comme *m* et *n*.

3° *Consonnes soutenues orales, dont l'émission exige que certaines parties de la bouche se mettent en opposition les unes avec les autres, comme des espèces de valvules.* Ce sont *f*, *ch*, *sch*, *s*, *r*, *l*. Les parties qui se mettent en opposition, et apportent ainsi obstacle au passage de l'air, sont tantôt les lèvres (*f*); tantôt les dents (*sch*, *s*); tantôt la langue et le palais (*ch*, *r*, *l*).

Dans la prononciation de l'*f*, les lèvres se placent comme pour souffler. Il y a deux modifications de ce bruit de soufflet, l'*f* et le *v*. L'ouverture des lèvres est plus arrondie pour l'*f*; pour le *v*, les lèvres laissent entre elles une fente étroite, mais large.

Le *ch*, correspondant au χ des Grecs, manque à la langue française. Il exige que la langue se rapproche du palais, et que l'air passe à travers un étroit intervalle ménagé entre elle et ce dernier. Il y a trois χ, suivant le point où la langue se rapproche du palais.

a. Dans le premier, ou χ antérieur, quelquefois exprimé

par *g* en allemand, c'est la partie antérieure de la langue qui se rapproche du palais, comme dans les mots *lieblich*, *selig*.

b. Dans le second, ou χ médian, le dos de la langue se rapproche de la partie moyenne du palais. Ce *ch* a un son tout différent de celui du précédent, par exemple dans les mots *tag*, *sagen*, *suchen*, *Aachen*, *ach*. Kempelen dit qu'il vient toujours à la suite d'un *a*, d'un *o* ou d'un *ou*. C'est, en effet, ce qui a lieu le plus ordinairement; mais la chose n'est pas de nécessité absolue, car les trois voyelles peuvent être associées aussi au *ch* antérieur, ainsi qu'il arrive même dans certains mots de la langue vulgaire, tels que *papachen*, *mamachen*. La langue polonaise possède aussi ce *ch*.

c. Dans le troisième, ou χ postérieur, qui est particulier aux Suisses, aux Tyroliens et aux Hollandais, le dos de la langue se rapproche de la partie la plus postérieure du palais ou du voile palatin. C'est le ח (*kheth*) des Hébreux, le خ (*kha*) des Arabes. Il existe aussi dans la langue bohème, d'après Purkinje.

Pour la prononciation du *sch* allemand, *ch* des Français, *sh* des Anglais, les dents des deux mâchoires sont rapprochées, ou même superposées, et la pointe de la langue se trouve derrière elles, sans y toucher. En Westphalie, on confond cette lettre simple avec σχ.

Dans la prononciation de l'*s*, les dents sont rapprochées ou en contact, et la pointe de la langue touche celles de la rangée inférieure. Le *th* des Anglais, le θ des Grecs, en sont des modifications.

Pour l'*r*, la langue vibre contre le palais. Tout son tremblottant n'est point un *r*, car le frémissement des lèvres vibrantes ne fait point entendre ce son. Haller regardait les vibrations de la langue pour la production de l'*r* comme autant de mouvemens volontaires, et pensait pouvoir s'en servir pour calculer la rapidité de l'action nerveuse. Mais évidemment il y avait malentendu de sa part; car les vibrations ne

sont ici que des tremblemens imprimés par le courant d'air à la langue qui lui résiste, et elles ne dépendent pas plus de la volonté que celles des lèvres quand on les fait frémir. Il y a deux sortes d'*r* : l'*r* pur ou lingual, dans la prononciation duquel la langue est la partie vibrante et le voile du palais reste en repos ; l'*r* guttural, pour lequel la langue demeure tranquille et le voile du palais vibre. Cette dernière espèce produit le grasseyement. L'*r* manque dans la langue chinoise.

Dans la prononciation de l'*l*, la pointe de la langue s'applique immédiatement au palais, et l'air ne passe que des deux côtés, entre elle et les joues. On peut aussi former ce son d'un côté seulement. Il manque dans la langue zend.

Kempelen rangeait quelques unes de ces lettres parmi les consonnes avec intonation, parce que la voix se fait entendre en même temps que les bruits qui les produisent, comme lorsqu'on prononce l'*r* et l'*l*. Cependant toutes peuvent être rendues muettes. La consonnance de la voix ne fait que leur imprimer des modifications dont on ne tient pas compte quand il s'agit du parler à voix basse.

III. Consonnes muettes explosives.

Ce sont β, γ, δ, et leurs modifications π, κ, τ.

La situation des parties de la bouche qui sert à les former change d'une manière brusque ; la formation commence par la fermeture de la bouche, et se termine par son ouverture. Aussi ne peut-on prolonger ces consonnes à volonté : le bruit qui les caractérise cesse dès que la bouche s'ouvre.

1° *Consonnes explosives simples*, β, γ, δ.

B, β. La bouche est close par les lèvres, et elle s'ouvre pour le passage du vent.

D, δ. La bouche est close par la langue appliquée à la partie antérieure du palais, ou à l'arcade dentaire, et elle s'ouvre pour le passage du vent.

G, γ. La bouche est close, plus en arrière, par l'applica-

tion de la partie postérieure du dos de la langue au palais, et elle s'ouvre pour le passage du vent.

Les consonnes muettes *b*, *d*, *g* sont généralement produites par la brusque ouverture des voies fermées; mais on peut aussi leur donner naissance par l'occlusion soudaine de ces mêmes voies.

2° *Consonnes explosives aspirées*, *p*, *t*, *k*.

Les sons *p*, *t*, *k*, correspondans à *b*, *d*, *g*, n'en sont que des modifications, dues à ce qu'une aspiration s'y joint au moment où la bouche s'ouvre. Par l'aspiration, le *b* devient *p*, le *d* devient *t*, et le *g* devient *k*. Les anciens, et, à leur exemple, Kempelen et Rudolphi, faisaient consister la différence entre les deux séries en ce qu'il y a résonnance de la voix pour *b*, *d* et *g*. L'assertion n'est point exacte, car on peut rendre ces trois lettres parfaitement muettes. Suivant Schulthess, leur essence tient à la force du courant d'air; ce qui est vrai; cependant il n'y a pas nécessité que les ouvertures postérieures du nez se ferment avant l'explosion. La seule différence entre les deux séries dépend de l'aspiration qui succède dans la prononciation de *p*, *t*, *k*. J'ai donné cette explication dès l'année 1827.

Plusieurs bruits explosifs que nous avons la faculté de produire, ne sont point employés dans les langues.

Tous les sont principaux de la parole articulée appartiennent, comme on voit, au système de la parole à voix basse. Il n'y a qu'un petit nombre de modifications des consonnes dont la formation exige la consonnance de la voix, et qu'on ne puisse faire sortir à voix basse, comme le *j* allemand, le *j* français, le *ge*, le *z* français, l'*l* avec intonation, l'*r* avec intonation. A la place de ces consonnes avec intonation on emploie, dans la parole à voix basse, les consonnes muettes correspondantes. Ainsi on substitue au *j* allemand le *ch*, au *j* français le *sch*, au *z* français l'*s*, à l'*l* avec intonation l'*l* muette, à l'*r* avec intonation l'*r* muet.

On voit, d'après cela, qu'il est possible, dans l'éducation première des enfans, de recourir, pour la plupart des consonnes, au mode de prononciation qui consiste à les faire sortir comme de simples bruits, mais que toutes les consonnes avec intonation ne peuvent être ainsi formées à voix sourde, de sorte que cette méthode, employée sans discernement, est plus nuisible qu'utile, et perd les avantages incontestables qu'elle présente lorsqu'on sait en faire une juste application.

B. *Système des sons de la parole à haute voix.*

Dans la parole à haute voix, quelques consonnes restent muettes, c'est-à-dire bornées à de simples bruits, parce qu'elles ne sont pas susceptibles de s'allier à la consonnance de la voix. Telles sont les explosives *b*, *d*, *g*, et leurs modifications *p*, *t*, *k*; tel est aussi l'*h* parmi les consonnes soutenues. D'autres sont susceptibles d'un double mode de prononciation, à voix basse et à voix haute, dans ce dernier cas avec résonnance de la voix : ce sont *f*, *ch*, *sch*, *s*, *l*, *r*, *m*, *n*, *ng*.

I. Voyelles.

La situation de la bouche est la même que dans la prononciation à voix basse. Le son se produit dans le larynx, comme il arrive au bruit des voyelles muettes, et le son laryngien est modifié par le canal pharyngien, par le canal oral et par l'ouverture buccale, de manière qu'il en résulte *a*, *e*, *i*, *o*, *ou*, *u*, *oe*, *ae*, et les voyelles nasillardes graves *a*, *ae*, *o*, *oe*. Les diphthongues sont des associations de deux voyelles, et Rudolphi les confond avec les véritables voyelles *u*, *oe*, *ae*. Enfin il faut encore ranger ici l'*e* muet, qui se rapproche déjà beaucoup des voyelles à voix basse.

Ces voyelles à voix basse ne se rencontrent généralement point dans la parole à voix haute. Il y en a pourtant des traces dans les idiomes slaves, par exemple dans le polonais.

II. Consonnes qui restent muettes dans la parole à haute voix.

1° Explosives, *b*, *d*, *g*, et leurs modifications *p*, *t*, *k*. Il est

de toute impossibilité d'unir ces consonnes muettes avec l'intonation de la voix. Essaie-t-on de les prononcer à haute voix, l'intonation vient après elles, et l'on n'a qu'une voyelle unie à *b*, *d*, *g* ou à *p*, *t*, *k*.

2° *Continues*. La seule consonne continue qui soit absolument muette et incapable de s'unir avec l'intonation de la voix, est l'*h*. Si l'on tente de la prononcer à haute voix, l'éclat de la voix ne sort pas en même temps qu'elle, mais vient après, et l'aspiration s'éteint aussitôt que l'air produit un son en traversant les cordes vocales.

III. Consonnes qui, dans la parole à haute voix, peuvent être aussi bien prononcées muettes, c'est-à-dire comme simple bruit, qu'avec intonation de la voix.

Elles appartiennent toutes à la classe des consonnes : *f*, *ch*, *sch*, *s*, *r*, *l*, *m*, *n*, *ng*. Les consonnes avec intonation qui font partie de cette série manquent dans beaucoup d'idiomes. La langue française est celle où l'on en trouve le plus ; elle les exprime tantôt par des lettres particulières, comme le *z* et le *j* pour l'*s* et le *sch* avec intonation, tantôt par un *e* muet placé après *l*, *m*, *n*, *r*. Un *e* bref et peu sensible venant après *l*, *m*, *n*, *r*, ne remplit pas le même objet, car c'est une intonation simultanée à la prononciation de ces consonnes. L'*e* muet placé après d'autres lettres ne signifie rien, à moins qu'il ne serve à déterminer avec plus de précision un caractère d'écriture dont on se sert aussi pour peindre d'autres sons ; ainsi *ge* et *che* représentent le signe allemand *sch*, tandis que *g* suivi d'un *a* correspond au γ. La langue allemande n'a qu'un seul cas dans lequel elle distingue une consonne avec intonation de sa correspondante muette ; c'est celui du *j*, qui diffère du *j* français ; car le *j* allemand est le *ch* avec intonation, et le *j* français est le *sch* avec intonation. Kempelen a très-bien connu plusieurs des consonnes avec intonation ; il sait, par exemple, que le *j* allemand résulte de l'intonation du *ch*, le

s français de l'intonation gazouillante de l'*s*, le *j* français de l'intonation du *sch*. Il range également *l*, *m*, *n*, *r* parmi les consonnes ; mais je ne puis partager son avis. Enfin il regarde *b*, *d*, *g* comme des consonnes avec intonation, tandis qu'elles sont absolument muettes, ainsi que *p*, *t*, *k*, qu'il déclare muettes de leur essence. Voici les séries correspondantes des consonnes soutenues, tant muettes qu'avec intonation :

Muettes.	Avec intonation.
	Soutenues nasales.
m	*m*. Dans l'écriture française, un *e* muet après *m*, mais sonnant avec lui.
n	*n*. Dans l'écriture française, un *e* muet après *n*, mais sonnant avec lui.
ng.	*ng*. Peut être, à volonté, prononcé avec intonation.

Les consonnes avec intonation peuvent aussi être formées un moment le nez étant bouché.

Muettes.	Avec intonation.
	Soutenues orales.
f et *v*	*v*. L'*f* avec intonation sonne comme un *v* avec intonation.
χ, *ch* des Allemands ; manque en français.	*j*. Dans le mot allemand *ja*, si l'on prononce *cha* avec intonation, il en résulte *ja*. La langue polonaise la possède aussi dans le mot *ja* (je). On ne le trouve, en français, que dans le cas de l'*l* mouillée.
sch, *che* en français.	*j*. Dans *jamais* en français. Prononce-t-on *schamais* avec intonation de *sch*, on a *jamais*. Le *z*' polonais est le même son avec intonation.
l	*l*. En français, un *e* muet après l'*l* ; mais cet *e* sonne avec l'*l* et non après ; *salle*, *sable*, *ville*.

r *r*. En français, un *e* muet après l'*r*; mais cet *e* sonne avec l'*r* et non après; *verre*.

s *z*. En prononçant *zone*, *zèle*, avec un *s* muet, on a *sone*, *sèle*; lorsqu'on entonne légèrement l'*s*, on produit *zone*, *zèle*. Le *z* polonais est dans le même cas.

L'emploi qu'on fait des consonnes soutenues muettes et avec intonation varie beaucoup suivant les langues. Les soutenues nasales *m*, *n* peuvent très-bien être muettes au commencement des mots, par exemple dans *mond*, *narr*, tandis qu'à la fin elles sont presque toujours avec intonation, surtout lorsqu'elles viennent après d'autres consonnes, comme dans *darm*. Le *ng* peut bien être formé muet, et il est très-prononcé dans *magnus* prononcé à voix basse; mais, dans la parole à haute voix, il est toujours un peu entonné.

Les soutenues orales *r* et *l* peuvent être complétement muettes au commencement des mots allemands, comme dans *rand*, *land*. A la fin des mots, elles peuvent l'être aussi, comme dans *war*; mais elles sont la plupart du temps entonnées, même en allemand, où il n'y a point d'*e* muet qui indique l'intonation. Il peut arriver que des voyelles entières disparaissent entre des consonnes, quand on entonne celles-ci: ainsi *mer* pour *mir*, en allemand, n'est qu'une association d'un *m* et d'un *r* tous deux avec intonation, ou même d'un *m* muet et d'un *r* entonné. L'intonation de l'*r* peut, au reste, se rapprocher soit de l'*u*, soit de l'*i*. Un *r* absolument muet se rencontre quelquefois dans les langues slaves, comme dans le mot *piotr* en polonais. L'*l* muet se voit aussi dans la langue polonaise, après d'autres consonnes, par exemple dans les mots *kladl*, *szbladl*, *szedl*; mais beaucoup de personnes ne le prononcent pas du tout.

L'intonation est parfois cherchée avec affectation, comme

lorsqu'on interpelle quelqu'un avec colère en lui disant *Monsieur... r!*

Le χ ou *ch* muet est propre à beaucoup de langues, de même que le χ entonné ou *j* allemand. La langue allemande a le *sch* muet, et la langue française le *sch* entonné, ou le *j* français. L'*s* entonné, ou le *z*, est propre au français. On voit que la langue française se distingue par le nombre des sons entonnés. La langue allemande a peu de consonnes entonnées; elle ne possède que le *j* ou χ entonné, l'*r*, l'*l* et l'*f*; mais le français et les idiomes slaves, malgré leur grande diversité sous d'autres rapports, ont des consonnes dont l'intonation est plus prononcée; ainsi, on trouve dans le français et le polonais l'*s* entonné ou *z*, le *sch* entonné ou *j* français, et même dans le polonais le χ entonné, ou le *j* allemand. La langue française n'a pas le χ muet; on n'y trouve des traces du χ entonné que dans l'*l* mouillé, qui n'est autre chose qu'un *l* entonné avec un χ entonné.

Ce qui caractérise la langue française, c'est le fréquent usage qu'elle fait des sons nasaux *m*, *n*, *ng*, et surtout cette autre particularité qu'elle ne les unit qu'à des voyelles nasales *a*, *o*, *æ*, leurs associations plus sonores avec *e*, *i*, *ou* lui manquant tout-à-fait. Dans les langues allemande et anglaise, toutes les voyelles se joignent à la consonne nasale *ng* : *ang*, *eng*, *ing*, *ong*, *ung*. Alors même que les Français écrivent *em*, *ing*, ils substituent, dans la prononciation, d'autres voyelles à celles de l'écriture, comme dans les mots *empereur* et *singulier*. De cet emploi restreint des sons nasaux possibles, qui oblige de multiplier l'usage de certains d'entre eux et leur association avec les voyelles nasales *a*, *æ*, *o*, résulte une sorte de monotonie nasale, tandis que la langue française se distingue si avantageusement sous d'autres rapports, notamment par l'abondance des consonnes molles entonnées. Ce qui frappe surtout, c'est le grand usage qu'elle fait du son *ang* et de ses diverses modifications, dans les mots *temps*, *évidemment*, *sang*, etc.

Les sons que je viens de passer en revue sont les élémens essentiels de toutes les langues perfectionnées : il ne peut être question ici des différentes manières de les exprimer, ni de la confusion qu'on fait si souvent des uns avec les autres. *Q*, *x* et *z* ne sont pas des consonnes simples. On pourra consulter Purkinje relativement à l'existence des divers sons dans les différentes classes de langues.

Outre les bruits consonnans ordinaires dont on se sert dans les langues parlées, il y a encore une foule d'autres bruits qui peuvent se produire dans la bouche et le larynx, tantôt explosifs, tantôt soutenus, comme ceux qu'on fait en mangeant, en se gargarisant, en détachant des mucosités du fond de la gorge, en gémissant, en baisant, en éternuant, en soupirant, en remuant vivement la langue d'un côté à l'autre, en avalant à petits traits, en faisant vibrer les lèvres, en claquant de la langue et des dents ou du palais, etc. Ce dernier bruit se rencontre, d'après Lichtenstein et Salt, dans la langue des Hottentots et d'autres peuples d'Afrique.

Les différens sons et bruits de la parole étant le résultat de conditions physiques déterminées, doivent pouvoir être imités par l'art à l'aide de machines. Il y en a quelques uns qu'on produit ainsi avec une grande facilité, le *b*, par exemple, quand on entonne dans un tube cylindrique, qu'on bouche et débouche alternativement avec la main, où le *v* quand le tube est un tuyau d'anche à languette membraneuse. Kratzenstein, Kempelen et R. Willis se sont occupés de ce problème. On est parvenu à imiter une grande partie des sons de la parole. Mais les machines sont toujours imparfaites, en ce qu'elles exigent un appareil spécial pour chaque voyelle et consonne, ce qui rend très-difficile de les unir à une seule soufflerie pour la production des mots. Nous ne devons point être surpris de ce que certains Oiseaux, comme les Perroquets et les Corbeaux, sont capables de former des sons articulés, puisque leur bouche, considérée d'une manière générale, offre les

mêmes parois, avec des parties qui agissent comme soupapes. Nul doute qu'ils n'apprennent à les produire de la même manière que l'enfant acquiert cette aptitude. Les mouvemens nécessaires à la production de chacun finissent par passer en habitude, et par être ensuite aux ordres de la volonté lorsqu'elle a l'intention d'émettre les sons possibles.

C. *Ventriloquie.*

On connaît chez l'homme une manière particulière de parler qu'on désigne sous le nom de ventriloquie. Quelques physiologistes, comme Magendie, pensent que les sons produits par les ventriloques ne sont que des modifications du timbre de ceux auxquels l'organe vocal donne naissance. D'autres croient qu'ils ont une cause particulière, qu'ils tiennent, par exemple, à ce que le sujet articule pendant l'inspiration. Cette dernière opinion est la plus répandue. On ne saurait nier qu'il ne soit possible d'articuler en aspirant, malgré les difficultés qu'on est obligé de vaincre pour cela, et que les sons qui se forment ainsi n'aient quelque analogie avec ceux des ventriloques. Cependant je ne pense pas que cette théorie soit exacte. Il y a une autre manière bien plus facile d'imiter complétement la voix des ventriloques, en donnant un timbre tout particulier aux sons de la sienne, et je suis persuadé que c'est elle qu'emploient les ventriloques de profession. Je fais une inspiration profonde, de sorte que le diaphragme refoule les viscères abdominaux en avant, puis j'expire d'une manière toute particulière, en resserrant beaucoup ma glotte, et faisant sortir l'air très-lentement par la contraction des parois thoraciques, tandis que le diaphragme conserve la situation qu'il avait durant l'inspiration, et qu'en conséquence le ventre demeure poussé en avant pendant que je parle. Cette intonation au moyen d'un grand rétrécissement de la glotte et d'un souffle faible déterminé par les seules parois latérales de la poitrine, sans le concours des muscles abdominaux, donne

lieu au timbre particulier des sons de ce registre. On peut ainsi former des sons qui ressemblent à ceux d'un homme appelant de loin. Comme le ventre demeure gonflé tandis qu'on parle, on croit d'abord ventriloquer pendant l'inspiration; mais on ne tarde pas à se convaincre que c'est réellement pendant l'expiration ; car, lorsque l'on continue jusqu'à ce qu'on n'ait plus d'haleine, la poitrine s'est resserrée de plus en plus, et quand il n'y a plus possibilité de produire aucun son par défaut d'air dans le soufflet, on est forcé de faire une nouvelle inspiration.

Parmi les effets que produisent les ventriloques, il y en a beaucoup qu'il faut attribuer à de simples illusions d'autres sens, de l'oreille par exemple, comme quand le sujet fait entendre des paroles qui ont l'air de venir d'un endroit déterminé. En général, nous distinguons très-peu la direction du son, et quand notre attention est dirigée vers un point, notre imagination est prête aussitôt à y rapporter ce que nous entendons.

D. *Vices de la parole.*

Une bonne prononciation suppose que la cavité orale est bien conformée et l'oreille juste. Les imperfections de la parole proviennent d'un défaut dans l'une et l'autre de ces deux conditions. La parole devient vicieuse eu égard à la formation de certains sons, et en même temps nasonnante, lorsqu'il y a un trou à la voûte palatine. Elle devient incomplète chez ceux qui manquent de dents. On peut consulter Kempelen et Schulthess pour ce qui regarde les vices de prononciation relatifs à chaque lettre. Le bégaiement tient à l'inhabileté et l'immobilité de la langue. L'ivresse le produit d'une manière passagère, et la paralysie du nerf grand hypoglosse d'une manière permanente. Mais la parole peut aussi être imparfaite parce que les sons ne se succèdent pas convenablement, quoique le sujet ait la faculté de les former purs. Le bégaiement est l'impossibilité momentanée de prononcer une con-

sonne ou une voyelle ou de l'unir aux précédentes. L'obstacle peut se rencontrer au commencement ou dans le milieu des mots. Si la lettre difficile à prononcer se trouve au milieu d'un mot, il arrive souvent que la syllabe précédente ou celle qui ne peut sortir complétement est répétée plusieurs fois de suite, par exemple *zi-zi-zi-zitze*, *lllachen*. Il manque dans le premier cas la possibilité d'unir la consonne *t* avec la voyelle *i* qui précède, et dans le second celle d'unir la consonne *l* avec la voyelle *a* qui la suit. La répétition de ce qui précède n'est pas, comme l'a très-bien fait remarquer Schulthess, ce qui constitue l'essence du bégaiement; c'est seulement une sorte de reprise pour trouver le passage, la transition. Si la consonne précédente est explosive, l'individu est enclin à la répéter, parce qu'il ne peut pas la soutenir à volonté et jusqu'à ce que la voyelle sorte. Mais si cette consonne est soutenue (*m*, *n*, *ng*, *f*, χ, *sch*, *r*, *l*, *s*), la répétition n'est plus nécessaire, parce que le son peut être prolongé jusqu'à ce que la voyelle arrive. Exemples : *Bbboire*, *l—lire*. Cependant il arrive aussi que l'homme qui bégaie répète la consonne soutenue, et prononce *lllire*. Quelquefois même il intercale involontairement, dans le mot, des lettres qui n'y appartiennent pas, *d*, *t*, *ng*, *nd* et autres. Schulthess pense que ce sont les voyelles et non les consonnes dont l'articulation difficile donne lieu au bégaiement. Cette remarque découle d'une observation attentive de la nature; toutefois, bien qu'elle rectifie une erreur jusqu'alors accréditée, elle va trop loin; car il arrive souvent que la voyelle est déjà formée, mais que la consonne qui vient après ne veut pas s'y unir. Je connais un jeune homme, très-versé dans les mathématiques, et qui a fortement bégayé autrefois; lorsqu'il prononçait son nom, il lui arrivait fréquemment de dire *Te-Tessot* au lieu de *Tessot*. Il y a encore beaucoup de circonstances où l'obstacle existe dès la première consonne d'un mot. Dans ces cas aussi, la cause tient moins à l'articulation par les parties actives de

la bouche qu'à une occlusion soudaine de la glotte, qui s'oppose au passage de l'air nécessaire pour produire telle ou telle consonne. Cette clôture de la glotte, sur laquelle Arnott surtout a appelé l'attention, ne survient que lorsqu'il s'agit d'associer ensemble certaines articulations, le passage de l'air restant libre pour d'autres, par exemple pour la répétition de la syllabe précédente. Au fond, l'obstacle est toujours à la glotte, soit qu'elle ne rende pas le son nécessaire quand il s'agit d'une voyelle, soit qu'elle ne laisse point passer l'air durant la tentative que le sujet fait pour articuler un son dans sa bouche. Ce travail de la part de la glotte s'annonce clairement, chez les personnes qui bégaient beaucoup, par la gêne de l'expiration et par la congestion du sang dans la tête et les veines du cou. L'essence du bégaiement consiste donc en un état pathologique des mouvemens associés du larynx et de la bouche. Lorsqu'il est porté au plus haut degré, on observe aussi des mouvemens dans les muscles de la face; l'effet est le même que quand on veut contracter un muscle de la face, et que la face entière se contracte parce qu'on éprouve de la peine à isoler l'influx nerveux (1).

Je partage complétement l'opinion d'Arnolt et de Schulthess quand ils assignent pour cause prochaine au bégaiement une affection spasmodique de la glotte. Cette affection est une occlusion momentanée de la glotte, soit par le rapprochement des cartilages aryténoïdes, qui s'appliquent l'un contre l'autre, soit par la pression qu'exercent les muscles thyro-aryténoïdiens, qui peuvent accoller les cordes vocales l'une à l'autre. Il faut tenir pour certain que cette affection momentanée est une association pathologique avec certains mouvemens de la bouche, en particulier de la langue, et qu'elle en dépend entièrement. Les parties de la bouche sont placées comme

(1) Magendie, art. Bégaiement du *Dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques*, Paris, 1830, t. IV, p. 63.

elles doivent l'être pour former le *b*; les lèvres peuvent aussi s'ouvrir comme l'exige l'explosion de cette lettre; mais il manque le courant d'air venant de la glotte. La marche naturelle pour remédier au bégaiement consiste donc à rendre facile l'association entre les mouvemens du larynx et les articulations. Chanter les mots est déjà un moyen d'y parvenir, parce que, dans le chant, l'attention se porte davantage sur la part que le larynx prend à la prononciation, qu'elle ne le fait dans la parole ordinaire. Aussi les personnes qui bégaient chantent-elles mieux qu'elles ne parlent.

Tenir la langue trop basse dans la bouche paraît favoriser le bégaiement. La méthode de madame Leigh tend à corriger ce vice et à relever la langue vers le palais. Les anciens avaient recours à un moyen analogue quand ils faisaient tenir des corps étrangers sous la langue. La méthode indiquée par Arnott repose sur des notions physiologiques exactes, eu égard au bégaiement. Si les lèvres de la glotte étaient visibles comme celles de la bouche, dit cet écrivain, la nature du bégaiement ne serait pas demeurée si long-temps couverte d'un voile. La glotte se ferme de temps en temps chez l'homme qui bégaye: il s'agit de faire perdre cette habitude à la nature, par l'exercice. Arnott propose de faire unir tous les mots en un seul par des intonations intercalées, jusqu'à l'épuisement de l'haleine. Ce moyen est bon, mais il ne suffit pas, puisque l'obstacle principal existe la plupart du temps dans l'intérieur même des mots, et tient aux mouvemens associés que réclament certaines articulations. Si j'avais une méthode à proposer pour la guérison du bégaiement, outre le procédé d'Arnott, j'emploierais le suivant : Je ferais au sujet des écritures dans lesquelles il ne se trouverait aucune consonne absolument muette ou explosive (β, δ, γ, π, τ, κ); ces écritures ne contiendraient que des phrases dans la composition desquelles il n'entraînerait, outre les voyelles, que des consonnes susceptibles d'intonation concomitante (f, x,

sch, s, r, l, m, n, ng); je ferais une loi de prononcer toutes ces lettres avec intonation, et de les traîner très-long-temps. De là résulte une prononciation dans laquelle l'articulation est constamment accompagnée d'intonation, de manière que la glotte ne se trouve jamais fermée. Une fois le sujet bien exercé à tenir sa glotte ouverte sans interruption, même entre les mots, comme le conseille Arnott, à ne jamais la fermer pendant et après chaque consonne et chaque voyelle, on pourrait passer à la consonne muette *h*, et aux consonnes explosives; car, parvenu là, il sait déjà de quoi il s'agit. Le procédé de madame Leigh est d'un empirisme aveugle : ni le maître ni l'élève ne savent ce dont il est question.

Il y a un certain vice, assez commun, de la parole, qui diffère essentiellement du bégaiement. C'est l'intonation entre les mots, l'interpolation d'un *e*, d'un *œ*, d'un *a*, plus ou moins long, ou de quelqu'une des voyelles nasales, ou d'un son particulier modifié par la gorge, pendant que la prononciation des mots eux-mêmes est bonne, par exemple *je... e*. Il semble entendre un instrument de musique dont le son se prolonge au-delà de la durée voulue. Ces sons étrangers forment et facilitent le passage d'un mot à un autre, et c'est peut-être là ce qui souvent y donne lieu, quoique fréquemment aussi ils tiennent à l'hésitation de la pensée. On rencontre quelquefois ce défaut chez les personnes qui bégaient, peut-être parce que c'est un moyen d'éviter une interruption en passant au mot suivant.

La formation de sons purs suppose l'ouïe. Il est fort difficile aux sourds-muets d'apprendre à prononcer des sons même grossiers. Il ne leur manque que l'ouïe, en totalité ou en grande partie; le mutisme est la suite de la surdité. Avec beaucoup de peine ils apprennent à imiter les mouvemens pour articuler les sons qu'ils voient faire devant eux, mais leur langage demeure toujours une sorte de hurlement qui ne peut servir dans la société, parce que l'absence de l'ouïe les

prive du régulateur dont ils auraient besoin pour bien articuler.

Au reste, l'ouïe et la parole ne peuvent tenir l'une à l'autre que par l'intermédiaire du cerveau lui-même. On ne voit pas de quelle utilité seraient des connexions nerveuses entre l'organe de l'audition et celui de la phonation. L'anastomose entre les nerfs facial et lingual est étrangère tant à l'ouïe qu'à la parole, car le nerf facial n'a rien de commun avec la première, ni le nerf lingual avec la seconde. Le principal nerf de la phonation est le grand hypoglosse, duquel dépendent tous les mouvemens de la langue. Le nerf facial joue aussi quelque rôle dans les articulations, du moins dans celles auxquelles les lèvres prennent part. Ces deux nerfs appartiennent à la physionomie, en ce sens que la mimique de la face et la parole représentent objectivement, chacune à sa manière, nos états intérieurs. Or tous deux paraissent dépendre de la même partie centrale, les olives.

E. *Accent.*

L'accent est une intonation plus élevée qu'on donne à certaines syllabes et à certains mots.

1° *Accent prosodique.* Chaque mot a son accent. Beaucoup d'hommes n'élèvent pas d'un semi-ton la syllabe accentuée ; d'autres l'élèvent de plus d'un semi-ton : alors la parole devient chantante. Dans le cas contraire, quand toutes les syllabes sont prononcées du même ton, elle devient monotone. Ce défaut de variation est insupportable chez les pédans, dont il exprime le naturel.

Dans les langues anciennes, l'accent et la quantité, ou la longueur des syllabes, sont deux choses tout-à-fait différentes. Dans le rhythme de la poésie, les syllabes sont mesurées d'après leurs longueurs naturelles aux dépens de l'accent.

En allemand, l'accent coïncide presque toujours avec la quantité. Il y faut allonger tout ce qui est marqué de l'accent.

Les langues romanes modernes ont trop peu de quantité et d'accent pour pouvoir employer avec succès le rhythme des syllabes longues et brèves. Aussi n'y mesure-t-on ces dernières que par leur nombre.

2° *Accent grammatical.* L'accentuation des mots dans le discours exprime la modalité du jugement. Dans les phrases interrogatives, affirmatives, etc., l'accent est toujours sur le mot principal. La proposition la plus simple, celle qui ne se compose que de trois mots, le sujet, le verbe et l'attribut, a une signification diverse suivant le membre auquel l'accent se rapporte.

3° *Accent des dialectes.* L'accentuation des divers dialectes peint le caractère vif ou lent des peuples. Ici l'accent est physionomique. Celui qui ne ressort pas du caractère de l'individu, est maniéré. Dans les grandes villes, ceux qui affectent le bon ton, ont souvent une manière d'accentuer tout-à-fait différente de l'accent naturel du peuple. Les Allemands n'ont point d'accent général, comme les Français, les Danois et les Suédois.

TROISIÈME PARTIE.

DES SENS.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Les sens nous informent des états divers de notre corps par la sensation spéciale qu'éprouvent les nerfs sensoriels. Ils nous font connaître aussi les qualités et les mutations des corps qui nous entourent, en tant qu'elles déterminent des états particuliers de ces mêmes nerfs. Le sentiment est commun à tous les sens ; mais la manière de sentir varie dans chacun d'eux. Sous ce rapport, on en distingue cinq, la vue, l'ouïe, le goût, l'odorat et le toucher. Par toucher, nous entendons la manière de sentir propre aux nerfs sensitifs, tels que le trijumeau, le vague, le glosso-pharyngien et les rachidiens, c'est-à-dire les sensations de chatouillement, de volupté, de donlenr, de chaud, de froid, et les sensations tactiles. Le mot de sensation ne nous servira désormais que pour désigner la transmission au sensorium, qui appartient également à tous les nerfs sensoriels. Les sens ne nous procurent, à proprement parler, que la conscience des qualités et des états de nos nerfs ; mais l'imagination et le jugement sont toujours prêts à interpréter comme qnalités et mutations des corps situés hors de nous les changemens provoqués dans nos nerfs par des canses extérieures. A l'égard des sens qui sont rarement affectés par des causes internes, comme la vue et l'ouïe, cette confusion nous est devenue tellement habituelle qu'à moins d'y réfléchir nous ne nons en apercevons pas. Mais, pour ce qui concerne le sens du toucher, qui est tout aussi souvent mis en jeu par des causes internes que par des causes externes, et qui nous procure la conscience des sensations particulières à nos nerfs

tactiles, il nous est facile d'apercevoir que ce que nous sentons, la douleur, la volupté, est un état de nos nerfs, et non une qualité des choses qui le déterminent. Ceci nous conduit à quelques principes généraux, dont l'exposition doit précéder l'histoire des sens considérés chacun en particulier.

I. *Nous ne pouvons avoir, par l'effet des causes extérieures, aucune manière de sentir que nous n'ayons également sans ces causes et par la sensation des états de nos nerfs.*

Cette proposition est de toute évidence pour le sens du toucher. Ce que les nerfs tactiles peuvent sentir est le froid et le chaud, la douleur et le plaisir, et d'innombrables modifications de sensations, qui ne sont ni de la douleur ni du plaisir, mais contiennent les mêmes élémens, lesquels seulement n'y sont point portés à l'extrême. Toutes ces sensations nous sont à chaque instant procurées par des causes internes, partout où il y a des nerfs sensitifs ; elles peuvent aussi être déterminées par des causes extérieures, mais celles-ci ne sauraient y introduire un élément de plus. Ainsi les nerfs sensitifs ne sentent que nos propres états, des qualités mises en évidence par des stimulations ou internes ou externes.

Nous pouvons avoir la conscience d'une sensation olfactive, même en l'absence de toute matière odorante, lorsque le nerf olfactif a une disposition déterminée pour cela. Ces perceptions d'odeurs dues à des causes internes ne sont pas fréquentes : on en voit cependant des exemples chez des sujets d'une complexion très-irritable.

Il en est probablement de même à l'égard du goût, quoiqu'ici la distinction soit difficile à établir, parce qu'on ne peut savoir si la saveur qu'on éprouve ne provient pas d'un changement particulier de la salive ou de la sécrétion muqueuse buccale. Dans tous les cas, le dégoût qui, comme sensation, appartient à la classe des sensations gustatives, dépend très-souvent d'une simple disposition nerveuse.

Les sensations propres au sens de la vue, la lumière, les

couleurs, l'obscurité, peuvent aussi avoir lieu sans cause extérieure. Réduit au plus bas degré de sensibilité, le nerf optique ne sent rien autre chose que l'obscurité. L'exaltation de sa sensibilité se manifeste, au contraire, les yeux étant fermés, par des effets de clarté et de scintillation, qui ne sont qu'une simple sensation, ne dépendent point d'une lumière matérielle, et ne peuvent par conséquent éclairer aucun objet. Chacun sait avec quelle facilité, en fermant les yeux, on voit les plus belles couleurs, surtout le matin, quand le nerf jouit encore d'une grande excitabilité. Ces phénomènes ont lieu fréquemment chez les enfans, au moment où ils se réveillent. La nature extérieure ne peut donc nous créer ici aucune impression qu'il ne soit possible à des causes internes de produire dans les nerfs, et l'on conçoit qu'un homme devenu aveugle, pendant sa jeunesse, par l'obscurcissement des milieux transparens, doit conserver une pleine et entière intuition intérieure de la lumière et des couleurs, quand la rétine et le nerf optique n'ont point souffert. Les idées qu'on se fait souvent des nouvelles sensations qu'une opération procure à l'aveugle de naissance sont exagérées et inexactes. L'élément de la sensation visuelle, la lumière, la couleur, l'obscurité, doit être connu de cet homme, tout aussi bien que des autres. Supposons même qu'un homme naisse au milieu d'une nature uniforme et dépouillée du prestige des couleurs, qu'en conséquence les impressions de celles-ci ne lui soient jamais amenées du dehors, son sens de la vue n'en serait pas pour cela plus pauvre que celui de tout autre; car la lumière et les couleurs sont innées en lui, et n'ont besoin que d'une excitation pour arriver à l'intuition.

Les sensations auditives nous viennent également aussi bien du dedans que du dehors. Toutes les fois que le nerf acoustique se trouve dans un état d'irritation, nous éprouvons la sensation qui lui est propre, nous entendons des tintemens, des bourdonnemens, des sons. C'est par de tels phénomènes

que ses maladies se manifestent. C'est par-là que s'annonce la part qu'il prend souvent aux affections, même légères et passagères, du système nerveux.

De tout cela il résulte clairement que les influences extérieures ne font naître en nous aucun mode de sensation qui ne puisse avoir lieu aussi sans cause du dehors, et par l'effet de causes internes agissant sur le sens correspondant.

II. *Une même cause interne produit des sensations différentes dans les divers sens, en raison de la nature propre à chacun d'eux.*

L'accumulation du sang dans les vaisseaux capillaires des nerfs sensoriels, en cas de congestion et d'inflammation, est une cause interne qui agit sur tous de la même manière. Cependant elle détermine des phénomènes de clarté et de scintillation dans les nerfs optiques, quoique les yeux soient fermés, des bourdonnemens et des tintemens dans les nerfs acoustiques, de la douleur dans les nerfs sensitifs. De même, un narcotique mêlé avec le sang occasione, dans chaque nerf sensoriel, les troubles qui s'accordent avec sa nature spéciale, des flamboiemens dans le nerf optique, des bourdonnemens dans le nerf auditif, des fourmillemens dans les nerfs sensitifs.

III. *Une même cause externe produit des sensations différentes dans les divers sens, en raison de la nature propre à chacun d'eux.*

L'influence mécanique d'un coup, d'un choc, d'une pression, provoque, dans l'œil, la sensation de la lumière et des couleurs. Personne n'ignore qu'en pressant l'œil, après l'avoir fermé, on détermine l'apparition d'un cercle de feu, et qu'à l'aide d'une pression moins forte, on provoque celle de couleurs, qu'on peut même transformer les unes dans les autres, phénomènes dont les jeunes gens s'amusent souvent lorsqu'ils s'éveillent avant le jour. L'espèce d'éclair qu'on aperçoit en se comprimant l'œil avec force dans l'obscurité, n'est qu'une pure sensation, et ne saurait illuminer les objets extérieurs.

Chacun peut s'en convaincre aisément. J'ai répété fort souvent l'expérience, sans que jamais il me fût possible, à l'aide de cette lumière subjective, de distinguer dans l'obscurité les objets même les plus rapprochés de l'œil. Elle a quelque importance, puisqu'il s'est trouvé des cas où les tribunaux ont soumis le phénomène à l'appréciation de la médecine légale (1). La lumière qu'on excite dans l'œil en le comprimant n'est pas non plus visible pour une autre personne, puisqu'elle ne consiste qu'en une sensation exaltée.

La faculté de luire qu'on attribue aux yeux n'a rien en soi qui s'élève contre elle *à priori*. Rien ne s'oppose à ce que les nerfs des animaux luisent, et comme l'œil nous offre la seule occasion que nous ayons de contempler, sans lésion préalable, un nerf, la rétine, à travers des milieux transparens, c'est là qu'on devrait le mieux pouvoir remarquer le phénomène, s'il s'opérait en effet un dégagement de lumière dans les organes nerveux. Eût-il lieu réellement dans l'appareil de la vision, il n'aurait aucun rapport avec la lumière que nous font apercevoir certaines causes internes. Mais l'expérience ne confirme pas qu'il s'opère un dégagement de lumière objective dans les nerfs ni dans la rétine, et des faits qui seront mentionnés ailleurs attestent que rien de semblable ne s'opère.

L'influence mécanique excite aussi dans le nerf acoustique les sensations qui lui appartiennent en propre. Un soufflet, par exemple, et la chose est même passée en proverbe, peut faire naître dans les nerfs auditifs et dans les nerfs optiques, comme dans ceux du toucher, les sensations particulières à ces sens. Rien n'annonce, au contraire, qu'un coup puisse faire naître la sensation d'une saveur ou d'une odeur ; cepen-

(1) On en trouve un exemple dans Muller, *Archiv fuer Anatomie*, t. I, p. 140 (1834). Il s'agissait d'un homme qui, attaqué la nuit par deux voleurs, disait en avoir parfaitement reconnu un à l'aide de l'éclatante lumière produite par un coup de poing qu'il lui avait avait asséné sur l'œil droit.

dant l'irritation mécanique du voile du palais, de l'épiglotte, de la base de la langue, provoque une saveur nauséeuse. L'effet que les corps produisent sur l'organe de l'ouïe, dans la sensation auditive, est purement mécanique. Une impulsion mécanique soudaine de l'air détermine la sensation du son dans l'organe de l'ouïe, comme celle de la lumière dans l'organe de la vue. Si cette impulsion est violente, on entend une détonation; si elle est faible, on ne discerne qu'un bruit; si enfin la cause persiste pendant un certain laps de temps, le bruit, le son est soutenu aussi. Dans certaines conditions déterminées, le bruit devient un son également déterminé ou appréciable. Le même bruit, qui demeure bruit tant qu'il reste continu et sans interruptions régulières, prend le caractère d'un son musical dès qu'il vient à être interrompu très-souvent et avec régularité dans un court espace de temps. Le frottement des dents d'une roue contre une latte de bois, dans la machine imaginée par Savart, ne produit que du bruit quand on le considère en lui-même et comme impulsion mécanique propagée à l'organe auditif; mais, si l'on tourne la roue avec beaucoup de vitesse, et que les bruits se succèdent rapidement, ils deviennent de moins en moins distincts les uns des autres, et finissent par constituer un son musical, dont l'acuité croît en raison directe de la rapidité des chocs ou de la rotation de la roue. Les vibrations d'un corps, qui, prises isolément, ne produiraient qu'un simple bruit, encore même à peine, acquièrent le caractère d'un son musical par le fait seul de leur succession répétée; l'impulsion est mécanique aussi. En admettant que la matière de la lumière agisse sur les corps par des oscillations mécaniques, nous avons là encore un exemple qui nous prouve que les vibrations agissent différemment sur des sens divers. Elles donnent lieu à la sensation de la lumière dans l'œil, et à celle de la chaleur dans les nerfs du toucher.

L'électricité est un second exemple d'une même irritation

provoquant des sensations diverses dans des nerfs sensoriels différens. Il suffit déjà de deux métaux hétérogènes faisant la chaîne avec l'œil pour exciter, dans l'obscurité, la sensation d'une lueur fulgurante ; l'œil n'a pas même besoin de se trouver dans le courant ; pourvu qu'il en soit très-rapproché, la sensation a lieu également, par l'effet d'une partie du courant qui se détourne sur lui. C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'une des plaques est mise en contact avec la face interne d'une paupière et l'autre avec l'intérieur de la bouche. Une électricité plus forte donne lieu à des sensations de lumière bien plus vives. L'irritation galvanique provoque la sensation auditive dans l'organe de l'ouïe. Volta, ayant compris ses oreilles dans la chaîne d'une pile de quarante paires de plaques, éprouva un sifflement et un bruit saccadé pendant tout le temps que la chaîne demeura fermée. Ritter, en fermant la chaîne, entendit un son comparable à celui de *sol*$_{s}$.

L'électricité par frottement détermine une odeur de phosphore dans les nerfs olfactifs. En armant la langue avec des métaux hétérogènes, on provoque une saveur acide ou salée, suivant la situation des plaques, dont l'une est appliquée sur l'organe, et l'autre dessous. On a voulu rapporter cet effet à la décomposition des sels de la salive ; mais ce qui vient d'être dit des autres sens suffit pour démontrer l'insuffisance de cette explication.

Dans les nerfs du toucher, les effets de l'électricité ne sont ni des sensations de lumière, ni des sensations de son, d'odeur, de saveur, mais des sensations propres à ces organes, comme des percussions, des picotemens, etc.

Les influences chimiques exercent vraisemblablement aussi une action différente sur les divers nerfs sensoriels. On conçoit que nous sommes fort peu instruits à cet égard. Ce qu'on sait, c'est que certaines influences chimiques déterminent des impressions tactiles, comme ardeur, douleur, sensation de chaleur, dans les nerfs du toucher, des sensations de saveur

dans l'organe du goût, et, quand elles sont volatiles, des sensations d'odeur dans l'organe olfactif. Il nous est impossible d'exercer une action chimique sur les nerfs des sens supérieurs, sans leur porter préjudice, autrement qu'à l'aide de substances introduites dans le sang. Ici se rangent les effets des narcotiques, qui, ainsi que personne ne l'ignore, déterminent des phénomènes subjectifs de vision et d'audition.

IV. *Les sensations propres à chaque nerf sensoriel peuvent être provoquées à la fois par plusieurs influences internes et externes.*

C'est ce qui résulte déjà des faits précédemment rapportés; car

1° La sensation de la lumière est excitée dans l'œil

a. Par des vibrations ou des émanations qu'on nomme lumière d'après leur action sur l'organe de la vue, quoiqu'elles déterminent beaucoup d'autres effets encore, même chimiques, et qu'elles entretiennent même les actions organiques des plantes;

b. Par des influences mécaniques, telles qu'un choc, un coup;

c. Par l'électricité;

d. Par des influences chimiques, comme celles de substances narcotiques, digitale ou autres, introduites dans le sang, qui déterminent des phénomènes subjectifs de vision, des flamboiemens devant les yeux, etc.;

e. Par l'irritation du sang dans la congestion.

2° La sensation du son l'est dans l'organe auditif

a. Par des influences mécaniques, vibrations des corps, que transmettent à cet organe les milieux propres à les propager;

b. Par l'électricité;

c. Par des agens chimiques introduits dans le sang (narcotiques, altérans, nervins);

d. Par l'irritation du sang.

3° La sensation des odeurs l'est dans les nerfs olfactifs

a. Par les influences chimiques de nature volatile, les aromes;

b. Par l'électricité.

4° La sensation des saveurs l'est

a. Par des influences chimiques qui agissent, soit du dehors, soit au moyen du sang, sur les nerfs du goût. Magendie prétend que les chiens auxquels on injecte du lait dans le sang, en éprouvent le goût, et se lèchent les lèvres;

b. Par l'électricité;

c. Par des influences mécaniques. Telle est la saveur nauséeuse que font éprouver les titillations du voile du palais, de l'épiglotte et de la base de la langue.

5° Les sensations tactiles le sont

a. Par des influences mécaniques, vibrations sonores, attouchemens de toute espèce;

b. Par des influences chimiques;

c. Par la chaleur;

d. Par l'électricité;

e. Par l'irritation du sang.

V. ***La sensation est la transmission à la conscience non pas d'une qualité ou d'un état des corps extérieurs, mais d'une qualité, d'un état, d'un nerf sensoriel, déterminé par une cause extérieure, et ces qualités varient dans les différens nerfs sensoriels.***

Autrefois, pour se rendre raison de l'aptitude qu'ont les différens nerfs sensoriels à sentir des influences déterminées, par exemple, les nerfs optiques la lumière, les nerfs auditifs les vibrations, etc., on leur attribuait à chacun un mode particulier d'excitabilité. Mais cette hypothèse ne suffit pas évidemment pour expliquer les faits. Sans contredit, les nerfs sensoriels possèdent une excitabilité spécifique pour certaines influences; car la même irritation qui agit avec force sur un organe des sens, influe peu ou point sur un autre; ainsi, des

vibrations aussi rapides que celles de la lumière n'agissent que sur les nerfs optiques et tactiles, d'autres plus lentes ne se font sentir qu'aux nerfs auditifs et tactiles, les aromes ne sont appréciés que par les nerfs olfactifs, etc. Les stimulus extérieurs doivent donc être homogènes à l'organe sensoriel : la lumière est l'irritant homogène de la rétine, et les vibrations moins rapides qui agissent sur le nerf auditif sont hétérogènes ou indifférentes au nerf optique; car, en touchant l'œil avec un diapason qui vibre, on n'éprouve qu'une sensation tactile à la conjonctive, sans ressentir nulle sensation de lumière. Cependant nous avons vu que certains stimulus, l'électricité par exemple, ont le pouvoir de faire naître des sensations diverses dans chaque organe des sens; cette électricité est donc homogène à tous les nerfs sensoriels, et néanmoins les sensations qu'elle provoque diffèrent dans tous. Il en est de même pour plusieurs autres stimulus, tels que ceux de nature chimique et mécanique. L'excitabilité spécifique des nerfs sensoriels ne suffit pas pour rendre raison des faits, et nous sommes obligés d'attribuer à chacun de ces nerfs, comme le faisait Aristote, des énergies déterminées, qui en sont les qualités vitales, de même que la contractilité est la qualité vitale des muscles. Cette opinion a reçu un nouvel appui, dans les temps modernes, des recherches d'Elliot, Darwin, Ritter, Gœthe, Purkinje et Hjort, sur les phénomènes subjectifs de sensation. On désigne sous ce nom des phénomènes provoqués non par le stimulus accoutumé d'un nerf sensoriel, mais par d'autres qui lui sont ordinairement étrangers. Pendant long-temps on les a envisagés sous un faux point de vue, en les regardant comme des hallucinations des sens, tandis que ce sont réellement des vérités sensorielles et des phénomènes fondamentaux, qui, à ce titre, méritent d'être étudiés sérieusement dans l'analyse des sens.

Ainsi la sensation du son est l'énergie propre du nerf acoustique, celle de la lumière et des couleurs est l'énergie

particulière du nerf visuel, etc. Une analyse exacte de ce qui a lieu dans toute sensation aurait déjà dû conduire à cette vérité par une autre voie. Les sensations de la chaleur et du froid, par exemple, nous informent de l'existence du calorique impondérable, ou de vibrations particulières, au voisinage de nos nerfs tactiles. Mais ce qu'est la chaleur, on ne saurait s'en rendre compte par ce qui constitue immédiatement l'état des nerfs tactiles ; il faut, pour cela, se livrer à l'étude des propriétés physiques de cet agent, rechercher les lois de sa propagation, de son dégagement, de son aptitude à devenir latent, de la faculté qu'il possède de dilater les corps, etc.

Et tout cela n'explique encore point ce qu'il y a de particulier dans la sensation de chaleur comme état des nerfs. Le fait pur, et dégagé de toute explication, est que la chaleur, comme sensation, prend naissance toutes les fois que le calorique agit sur un nerf de sentiment, et que le froid, comme sensation, a lieu quand le calorique est soustrait à un nerf de sentiment.

On en peut dire autant du son. Le fait pur est que, quand un certain nombre de chocs ou de vibrations sont communiqués au nerf acoustique, le son naît, comme sensation ; mais le son, comme sensation, diffère infiniment d'un nombre quelconque de vibrations. Le même nombre de vibrations d'un diapason, qui transmet la sensation du son au nerf auditif, est perçu comme chatouillement par le nerf tactile. Il faut donc que quelque chose s'ajoute aux vibrations pour que nous puissions sentir un son, et cette condition indispensable n'est attachée qu'au nerf acoustique.

La vue est dans le même cas. La force diverse avec laquelle agit l'impondérable appelé lumière, détermine une inégalité de sensation en des points divers de la rétine de l'œil, que d'ailleurs l'action tienne à des secousses ou à un courant animé d'une vitesse infinie, suivant qu'on adopte la théorie de l'ondulation ou celle de l'émanation. Mais c'est seulement

parce que la rétine sent comme étant médiocrement éclairés les points faiblement affectés, comme étant lumineux ceux qui reçoivent une vive impression, et comme étant obscurs ou ombrés ceux qui demeurent en repos ou n'éprouvent rien, qu'il se produit une image lumineuse déterminée, dont les contours se règlent d'après les points de cette membrane qui ont été affectés. La couleur est inhérente aussi au nerf optique lui-même, et quand elle est provoquée par la lumière extérieure, elle se produit en conséquence d'une propriété, qui nous est encore inconnue au fond, des rayons auxquels nous donnons l'épithète de colorés, ou des oscillations nécessaires pour faire naître l'impression de la couleur. Les nerfs du goût et de l'odorat sont susceptibles de recevoir un nombre infini de déterminations du dehors; mais chaque saveur dépend d'un état déterminé du nerf, que les circonstances extérieures produisent, et il est ridicule de dire que la qualité de l'acide est transmise par les nerfs gustatifs; car l'acide agit aussi sur les nerfs tactiles, mais il n'y fait pas naître une sensation de saveur.

L'essence des états des nerfs au moyen desquels ils voient la lumière et sentent le son, la nature du son, comme qualité du nerf acoustique, celle de la lumière, comme qualité du nerf optique, celle du goût, de l'odorat, du toucher, nous sera éternellement cachée; nous ne la connaîtrons jamais, pas plus que nous n'arriverons à la connaissance des causes finales en physique. Il n'y a pas moyen de raisonner sur la sensation du bleu : c'est un fait, comme beaucoup d'autres, qui dépasse les bornes de notre intelligence. Vouloir expliquer les sensations particulières et diverses qu'une même cause détermine dans les divers sens par la rapidité différente des vibrations du principe nerveux, ne nous avancerait à rien; en supposant même que cette théorie fût vraie, il faudrait commencer par l'appliquer à l'explication des différentes sensations qui ont lieu dans le domaine d'un sens déterminé, et rechercher avec

son secours pourquoi, par exemple, le sensorium reçoit la sensation du bleu, du rouge, du jaune, celle d'un son grave ou aigu, celle de la douleur et du plaisir, celle du chaud ou du froid, celle de l'amer, du doux, de l'aigre. C'est en ce sens seulement que l'explication suivante offre de l'intérêt : la cause de l'élévation différente des sons est au moins déjà la différence de vitesse des vibrations des corps sonores, et un attouchement des nerfs tactiles de la peau qui, lorsqu'il demeure isolé, produit une sensation simple de toucher, donne lieu, quand il se répète avec rapidité, comme vibration d'un corps sonore, à une sensation de chatouillement, de sorte que ce qu'il y a de spécifique dans la sensation du plaisir tient peut-être, abstraction faite des cas où il provient de causes purement internes, à la rapidité des vibrations du principe nerveux dans les nerfs tactiles.

Ainsi les nerfs sensoriels n'ont pas pour unique office de transmettre les qualités des corps à notre sensorium; c'est seulement par leurs qualités propres, et par leur aptitude à éprouver des modifications plus ou moins considérables de la part des objets situés hors de nous, que nous sommes informés de la présence de ces derniers. La sensation tactile même que la main procure ne nous avertit point de l'état des surfaces du corps touché, mais des points de notre corps qui sont excités par l'attouchement. L'imagination et le jugement font de la sensation simple une tout autre chose. C'est sur la manière diverse dont les corps déterminent les états de nos nerfs, que repose la sûreté des distinctions que nous établissons à l'aide de nos sens. Mais on conçoit aussi d'après cela pourquoi la connaissance que nous acquérons du monde extérieur par nos sens, ne peut rien nous apprendre touchant la nature et l'essence de ce monde. Nous ne sentons jamais que nous dans nos relations avec les objets extérieurs, et si, d'après la manière dont ils font que nous nous sentons, nous nous faisons de leur nature des idées qui peuvent avoir une certaine justesse rela-

tive, nous ne saurions avoir de cette nature même une intuition immédiate semblable à celle que notre sensorium acquiert des états des parties de notre corps.

VI. *Un nerf sensoriel paraît n'être apte qu'à un mode déterminé de sensation. Un sens ne peut donc point être suppléé par un autre sens.*

La sensation peut, dans chaque organe de sens, être portée jusqu'au degré qui la rend agréable ou désagréable, sans que, pour cela, elle change de nature et prenne les caractères de la sensation d'un autre organe sensoriel. L'agréable et le désagréable sont sentis par l'organe de la vue comme harmonie des couleurs et éblouissement, par celui de l'ouïe comme accord et discordance des sons; les sens du goût et de l'odorat ont des saveurs et des odeurs qui les flattent ou qui leur déplaisent; l'organe du toucher éprouve du plaisir ou de la douleur. Il paraît donc que, même quand les organes sensoriels sont affectés au plus haut degré, la sensation n'en conserve pas moins son énergie spécifique. Chacun sait que la sensation de la lumière, du son, des saveurs, des odeurs, n'est perçue que dans les nerfs correspondans; mais la chose est moins évidente pour ce qui concerne le toucher, et l'on peut surtout se demander si la sensation de la douleur n'est pas possible dans les nerfs des sens supérieurs, si, par exemple, une forte lésion du nerf optique est sentie seulement comme vive sensation de lumière, et non comme douleur. La solution de ce problème présente de grandes difficultés. Outre les nerfs sensoriels spécifiques, les organes de sens reçoivent aussi des nerfs tactiles : ainsi le nez, indépendamment des nerfs olfactifs, reçoit des ramifications du nerf sensitif de la seconde branche du trijumeau; la langue possède à la fois le goût et le sentiment, dont chacun peut se perdre sans que l'autre soit aboli; il en est de même de l'œil et de l'organe auditif. Pour résoudre le problème, il faudrait faire des expériences sur les nerfs sensoriels isolés. Les observations

qu'on a recueillies jusqu'à présent à ce sujet, annoncent que les nerfs sensoriels ne sont susceptibles d'aucune autre sensation que de celle qui leur appartient en propre, et que le sentiment proprement dit ne leur est point dévolu. Magendie a trouvé les nerfs olfactifs du Chien insensibles aux piqûres ; il a remarqué aussi que les lésions mécaniques de la rétine et du nerf optique n'occasionaient pas de douleurs. D'un autre côté, Tortual a constaté que la section du nerf optique, dans l'extirpation de l'œil, faisait apercevoir au malade des masses considérables de lumière. Les cercles lumineux qui se produisent quand on tourne brusquement les yeux de côté, et qui sont dus au tiraillement du nerf optique, appartiennent déjà à la classe de ces phénomènes. Souvent il arrive, dans les cas où l'ablation de l'œil est indiquée, que le nerf optique lui-même a subi une dégénérescence telle qu'il n'est plus apte à éprouver aucune sensation ; on ne doit donc pas s'attendre à voir le phénomène observé par Tortual se représenter dans toutes les opérations du même genre ; et en effet, il ne s'est point offert dans deux extirpations de l'œil qui ont été pratiquées à Berlin. Au reste, je ne sache pas que la section du nerf soit plus douloureuse qu'aucun autre temps de l'opération ; or une pareille lésion, sur un nerf si volumineux, devrait entraîner d'atroces douleurs, et arracher subitement un cri violent aux animaux, s'il était doué de la sensibilité tactile.

Un nerf sensoriel, quand il vient à être irrité, peut sans contredit provoquer à son tour d'autres sensations, avec le concours du cerveau, c'est-à-dire par réflexion. Ainsi l'audition de certains sons, par exemple du bruit causé par le verre qu'on raie, détermine une sensation toute particulière, une sorte de frissonnement dans les nerfs tactiles. Il se peut également que la sensation d'une lumière éblouissante dans le nerf optique donne lieu, par réflexion, à une impression désagréable sur les nerfs sensitifs de l'orbite et de l'œil : du moins est-ce ainsi qu'on parvient à se rendre compte des sen-

sations désagréables que l'on éprouve dans le globe oculaire après avoir été exposé à une lumière très-vive.

En ce qui concerne l'olfaction, Magendie s'est évidemment trompé lorsqu'il a dit, d'après ses expériences sur la destruction des nerfs olfactifs, que la faculté de sentir les odeurs appartient aux branches nasales du nerf trijumeau ; car les substances irritantes qu'il a employées, en les introduisant dans les narines, comme l'acide acétique, l'ammoniaque, l'huile de lavande et celle de Dippel, excitent d'une manière très-puissante la sensibilité tactile de la membrane muqueuse du nez. Dans tous les cas bien observés d'absence des nerfs olfactifs, la faculté d'apprécier les odeurs n'existait pas non plus.

Personne ne contestera aux nerfs visuels le pouvoir d'agir sur les autres nerfs sensoriels, dans les limites assignées à l'influence qu'un nerf en général est susceptible d'exercer sur les autres par l'intermédiaire du cerveau. Quelle étendue n'ont pas les affections déterminées par une névralgie! Quels désordres n'apporte pas dans les appareils des sens un état nerveux dont les organes abdominaux sont la source! N'est-il pas ordinaire de rencontrer alors des aberrations de la vue, des bourdonnemens d'oreilles, etc., quoique, d'ailleurs, bien des phénomènes de ce genre dont on rapporte l'origine au bas-ventre, aient une source beaucoup plus profonde, et se rattachent à l'irritation de la moelle épinière!

C'est sous ce point de vue aussi qu'on doit envisager l'influence du nerf frontal sur le nerf optique, et les gouttes sereines qui ont été observées à la suite de ses lésions; il est vrai que cette sorte d'amaurose, dont les modernes ont eu rarement occasion de rencontrer des exemples, serait peut-être plus exactement attribuée à la commotion de l'œil et du nerf optique, par suite de la contusion du front.

Les observations anatomiques alléguées en faveur du remplacement d'un nerf sensoriel par un autre, reposent sur une

base très-précaire. On a prétendu que la branche ophthalmique du trijumeau servait de nerf optique à la Taupe; cependant Koch et Henle ont fait voir que cet animal a un véritable nerf optique, très-grêle, mais proportionné au volume de son œil, et il en est vraisemblablement de même pour le Protée. Treviranus et E.-H. Weber ont fait voir que le nerf acoustique des Poissons est indépendant du trijumeau. Quand bien même il arriverait à une gaîne nerveuse de renfermer des fibres dévolues à diverses fonctions, ce ne serait point là une preuve que des sensations diverses pussent être transmises par un même conducteur. C'est ainsi qu'on explique une particularité anatomique des Poissons, chez lesquels existe un nerf accessoire de l'acoustique, qui naît tantôt du cerveau, tantôt du trijumeau ou de la paire vague (1), et cette autre disposition offerte par certains Oiseaux, dont, suivant Treviranus (2), le nerf vestibulaire serait une branche du facial. Blainville, Mayer et Treviranus admettent des rudimens de nerfs olfactifs chez les Dauphins (3); dès-lors il n'y aurait pas nécessité de recourir à d'autres nerfs pour expliquer l'odorat chez ces animaux; mais on ignore s'ils sentent ou non les odeurs.

Parmi les faits physiologiques dignes de créance, il ne se trouve aucun exemple de véritable remplacement d'un nerf sensoriel par un autre nerf entre lequel et lui existent des différences spécifiques. On ne dirait pas aujourd'hui que les aveugles voient avec les doigts, parce que le toucher a pris chez eux un développement qui le rend exquis. Quant à la faculté de voir avec les doigts, ou avec le creux de l'estomac, pendant le sommeil magnétique, c'est un pur conte dans la bouche de ceux qui en parlent, et une jonglerie de la part des

(1) E. H. Weber, *De aure et auditu*, p. 33, 101.

(2) Treviranus, dans *Zeitschrift fuer Physiologie*, t. V.

(3) Treviranus, *Biologie*, t. V, p. 342.

personnes qui prétendent la posséder (1). Les nerfs tactiles ne sont susceptibles d'aucune autre impression que de celles qui se rapportent au toucher. Aussi n'est-il pas possible d'entendre autrement qu'avec les nerfs acoustiques ; car ce que les nerfs tactiles sentent des vibrations des corps, n'est qu'un sentiment de tremblement, et ne ressemble en rien au son ; à la vérité, il n'est pas rare aujourd'hui de voir confondre ensemble les manières diverses dont les vibrations des corps agissent sur l'ouïe et le toucher. Sans l'oreille vivante, il n'y a pas de son au monde, mais seulement des vibrations. Sans l'œil vivant, il n'y a au monde ni clarté, ni couleurs, ni obscurité, mais seulement les oscillations d'une matière impondérable, la lumière, ou l'absence de celle-ci.

VII. *On ignore si les causes des énergies diverses des nerfs sensoriels résident en eux-mêmes, ou dans les parties du cerveau et de la moelle épinière auxquelles ceux-ci aboutissent; mais ce qu'il y a de certain, c'est que les parties centrales des nerfs sensoriels au cerveau sont susceptibles d'éprouver, indépendamment des cordons ou conducteurs nerveux, les sensations déterminées propres à chaque sens.*

La sensibilité spécifique des nerfs sensoriels pour des stimulus particuliers doit sans doute résider en eux-mêmes, de manière, par exemple, que des vibrations d'une rapidité ou d'une lenteur permettant de les entendre, agissent seulement sur les sens de l'ouïe et du toucher, que des influences purement mécaniques, et s'exerçant sur les nerfs de la gustation, ne contribuent presque point à faire naître la sensation des saveurs, etc. Mais la réaction spéciale qui succède à l'excitation d'un nerf sensoriel peut avoir lieu de deux manières : ou les nerfs transmettent directement des qualités diverses au sensorium, ou des vibrations semblables dans les nerfs font

(1) *Dict. de médecine et de chirurg. pratiques*, art. Magnétisme, par J. Bouillaud, t. XI, p. 339. — Bulletin de l'Acad. royale de médecine, t. II, p. 540, 560; t. III, p. 1123.

percevoir des qualités diverses au sensorium, suivant les qualités propres des portions de l'organe de ce dernier avec lesquelles les différens nerfs sensoriels sont en connexion. Le problème nous paraît insoluble pour le moment : il se lie à la question de savoir s'il y a une différence de qualité entre les fibres nerveuses sensorielles, motrices et organiques, si elles ne diffèrent les unes des autres que par la manière dont le courant et les oscillations du principe nerveux s'opèrent dans leur intérieur, ou si la diversité de leur action tient uniquement aux parties vers lesquelles elles se rendent. On a vu précédemment tout ce qu'il est permis aujourd'hui de dire à cet égard.

Ce qu'il y a de certain, c'est que certaines parties centrales du cerveau participent aux énergies spéciales des sens ; car une compression exercée sur l'encéphale donne lieu à la sensation de la lumière. La paralysie complète de la rétine ne détruit pas la possibilité d'images lumineuses déterminées par des causes internes. Un homme dont l'œil avait été vidé, et que Humboldt galvanisait, n'en apercevait pas moins de ce côté des phénomènes de lumière. Lincke rapporte qu'un malade auquel il avait fallu extirper un œil devenu cancéreux, vit le lendemain toutes sortes de phénomènes lumineux subjectifs, qui le tourmentèrent au point de faire naître en lui l'idée qu'il les apercevait réellement avec ses yeux ; en fermant l'œil sain, il voyait flotter devant son orbite vide des images diverses, des lumières, des cercles de feu, des personnages dansans ; ce symptôme persista pendant quelques jours.

De même, certaines personnes qui ont perdu toute aptitude à percevoir les impressions extérieures sur les membres, y éprouvent parfois des sensations, même de vives douleurs. Il est probable qu'ici également les organes centraux sont la cause de ces sensations, et comme les énergies sensorielles spéciales appartiennent à certaines parties du sensorium, la question se réduit à savoir si les conducteurs des impressions extérieures, c'est-à-dire les nerfs, participent ou non à ces

propriétés. Il ne nous est pas possible d'y répondre aujourd'hui, car les faits s'expliquent tout aussi bien dans l'une que dans l'autre hypothèse. On ne peut pas considérer comme une preuve de la participation des nerfs eux-mêmes et des énergies sensorielles déterminées, que des causes internes donnent souvent lieu à des sensations qui se propagent vers la périphérie, puisqu'il arrive fréquemment aussi aux affections des parties centrales du système nerveux de se trahir par des symptômes dont le siége est rapporté à l'extérieur.

VIII. *Les nerfs sensoriels ne sentent immédiatement que leurs propres états, ou le sensorium sent les états des nerfs sensoriels; mais comme ces derniers, en leur qualité de corps, participent aux propriétés d'autres corps, comme ils occupent de l'étendue dans l'espace, qu'un ébranlement peut leur être communiqué, et qu'ils sont susceptibles d'éprouver des changemens chimiques de la part de la chaleur et de l'électricité, il suit de là que, quand ils viennent à être modifiés par des causes extérieures, ils indiquent au sensorium, non seulement leur état propre, mais encore les qualités et les changemens du monde extérieur, et cela d'une manière propre à chaque sens, en raison de ses qualités ou de ses énergies sensorielles.*

Les qualités qui naissent, comme sensations, du conflit entre les nerfs sensoriels et les organes des sens, sont la sensation de la lumière, de la couleur, du son, de l'amer, du doux, du fétide, du fragrant, de la douleur, du plaisir, du froid, du chaud. Celles qui peuvent être déterminées entièrement par des causes du dehors, sont l'étendue, le mouvement progressif, le mouvement vibratoire, le changement chimique.

Tous les sens ne conviennent pas également pour communiquer au sensorium l'impression de l'étendue dans l'espace. Le nerf optique et le nerf tactile indiquent cette étendue, parce qu'ils sont susceptibles de sentir exactement la leur propre. C'est dans le sens du goût que cette sensation existe

au degré le plus vague, et néanmoins elle s'y trouve, car on lui doit de pouvoir déterminer l'étendue d'une saveur douce, amère, nauséeuse, sur la langue, au palais et dans la gorge. Le sens du toucher et celui de la vue sont ceux qui distinguent l'espace avec le plus de netteté. La membrane nerveuse du nerf optique a une texture qui la rend parfaitement appropriée à ce genre de perception; car, d'après la découverte de Treviranus, les extrémités des fibres nerveuses sont disposées de telle sorte, dans la rétine, qu'elles finissent par en traverser perpendiculairement toute l'épaisseur, et que leurs extrémités papilliformes serrées les unes contre les autres représentent une membrane constituée en manière de pavé ou de mosaïque. Du nombre de ces extrémités dépend la netteté avec laquelle l'espace est distingué par le sens de la vue; car chaque fibre représente un champ plus ou moins visible dans une impression commune simple que ces fibres communiquent au sensorium. La distinction de l'espace par le sens du toucher est bien plus étendue, à la vérité, que celle par le sens de la vue; mais elle a beaucoup moins de précision, et des portions considérables de la surface du corps ou de la peau sont souvent représentées dans le sensorium par un petit nombre seulement de fibres nerveuses; d'où il arrive, ainsi que l'a fait voir E.-H. Weber, qu'il y a certaines parties de notre corps où deux points de la peau assez distans l'un de l'autre ne sont sentis que comme un seul point. Quoique les sens de la vue, du toucher et goût soient tous trois aptes à sentir l'espace, la qualité de ce qu'ils sentent comme tel varie dans chacun d'eux suivant les qualités des nerfs; dans le premier cas, c'est une image, dont la qualité est la lumière; dans le second, une sensation de l'espace, dont la qualité peut être l'une des innombrables modifications du toucher comprises entre la douleur, le froid, le plaisir, la chaleur; dans le troisième, une sensation de l'espace, avec appréciation d'une saveur.

La cause extérieure qui existe dans le sens, la sensation

avec étendue dans l'espace, peut être différente. Pour l'organe de la vue, c'est ordinairement la lumière ; mais ce peut être aussi un choc qui détermine une sensation lumineuse dans cet organe. En effet, lorsqu'une partie seulement de la rétine est comprimée, il ne se produit non plus qu'un champ lumineux correspondant à cette partie, et qui occupe un emplacement déterminé dans le champ visuel. L'électricité elle-même peut occasioner dans l'œil des images de forme déterminée, comme des lignes de feu, dont la situation varie suivant celle des pôles, sujet sur lequel je reviendrai plus tard. Dans l'organe du toucher, la lumière produit bien aussi la sensation de l'étendue des parties échauffées par le soleil qui projette sur elles ses rayons; mais, en général, les impressions qui nous informent des corps situés hors de nous par l'intermédiaire de ce sens, sont le contact, le frottement, le choc, la pression ou la communication de vibrations qui alors se font sentir à nous comme tremblement. C'est par l'organe du toucher qu'à la suite des impressions mécaniques nous acquérons les premières et les plus importantes notions sur la forme et la pesanteur des corps, dont le jugement ne tarde pas à faire usage pour expliquer les intuitions des autres sens.

Des membres entiers, la plupart même des parties de notre corps étant pénétrés de nerfs sensitifs, il résulte de là que le sens du toucher a la possibilité de distinguer l'étendue de notre propre corps dans toutes les dimensions; car chaque point où aboutit une fibre nerveuse est représenté dans le sensorium comme partie intégrante de l'espace. Il peut arriver aussi, dans le conflit de notre corps avec d'autres, quand le choc est assez fort, que la sensation soit excitée jusqu'à une certaine profondeur de notre corps, ce qui donne lieu à la sensation d'une contusion dans toutes les dimensions du cube. Mais ordinairement les trois sens qui indiquent l'étendue des objets dans l'espace ne nous font percevoir que des surfaces, parce que ce sont les surfaces des parties riches en nerfs que

le conflit affecte. Cependant ici le sens du toucher a cet avantage sur celui de la vue, que les parties palpantes peuvent s'appliquer en plusieurs directions autour d'un corps, et quoique même alors la sensation, considérée en elle-même, soit toujours celle d'une étendue en surface, c'est-à-dire celle des surfaces de notre corps qui correspondent aux surfaces de l'objet extérieur, néanmoins l'imagination, d'après les mouvemens nécessaires pour embrasser ce dernier, complète ce qui manque à la sensation des surfaces pour devenir l'intuition d'un solide.

Le sens de la vue est moins différent du sens du toucher, sous ce rapport, qu'on ne l'admet communément. La seule chose qui lui manque pour l'égaler en tous points, c'est que l'œil puisse changer de place afin d'apercevoir d'autres surfaces de l'objet; mais les déplacemens de notre corps suppléent à ce défaut.

La sensation de l'étendue dans l'espace manque presque entièrement au sens de l'ouïe, parce qu'il ne sent pas non plus la sienne propre. Les causes de cette différence nous sont inconnues. La rétine sent sa propre étendue et son emplacement, sans même avoir besoin d'être le moins du monde affectée du dehors; elle les sent comme obscurité devant les yeux. L'organe de l'odorat sent distinctement au moins quelle est la partie du corps qui perçoit les odeurs, et quand celles-ci sont pénétrantes, il sent que le nez entier est envahi par elles, que nous n'en pouvons pas prendre moins qu'à plein nez. Dans l'ouïe, il n'y a nulle perception du lieu où le son se fait entendre.

La sensation du mouvement est double, comme le mouvement lui-même, c'est-à-dire progressive et vibratoire.

La sensation du mouvement progressif a lieu de différentes manières dans trois sens, ceux de la vue, du toucher et du goût, c'est-à-dire dans ceux précisément qui ont la faculté de distinguer l'espace en général. De ces deux facultés, la pre-

mière dépend de la seconde, et n'en est qu'une simple conséquence. Une affection marche d'une partie de la rétine à une autre, et nous nous figurons le mouvement de l'image comme mouvement du corps. Il en arrive autant pour le sens du toucher. Celui dn goût distingne également le mouvement de la saveur sur l'organe gustatif.

Le perception du mouvement tremblotant ou vibratoire est possible dans plusieurs sens. C'est dans les sens de l'ouïe et du toucher que cet effet a lieu de la manière la plus prononcée. Mais la rétine et le nerf optique paraissent ne point y être étrangers non plus.

Quant à ce qui concerne le sens de l'ouïe, les ébranlemens communiqués au nerf acoustique par l'appareil conducteur du son de l'organe auditif, et en dernier lieu par l'eau dn labyrinthe, ne sont entendus, lorsqu'ils se succèdent avec assez de rapidité, que comme un son dont l'élévation croît avec la vitesse des vibrations : quand ils sont très-lents, le nerf acoustique, non seulement distingue leur expression commune comme son déterminé, mais encore aperçoit assez facilement quelque chose de leurs vibrations isolées, comme bruit.

Les vibrations du corps qui produisent le son dans l'organe auditif sont senties par les nerfs tactiles de la peau comme tremblement, et souvent elles causent une impression totale de chatouillement lorsque le corps vibrant, par exemple un diapason, se rapproche de parties riches en faculté sensitive. Ces phénomènes sont parfaitement parallèles à ceux de l'organe auditif. De même que les chocs d'un corps font naître, dans l'ouïe, la sensation du bruit quand elles sont isolées, et celle du son lorsqu'elles se succèdent avec vitesse, de même aussi le nerf sensitif sent des tremblemens successifs, et en même temps, si les vibrations ont assez de rapidité, il éprouve la sensation particulière à l'organe du toucher, celle du chatouillement.

Au reste, les expériences avec la roue de Savart et la sirène

de Cagniard-Latour prouvent que le mouvement ondulatoire n'est point nécessaire pour donner lieu à l'affection de l'organe auditif, et qu'une succession rapide d'impulsions mécaniques produit un effet identique avec celui des vibrations. Dans la sirène, un courant d'air ou de liquide qui s'échappe par une ouverture est momentanément interrompu par chaque dent d'une roue qui tourne avec rapidité sur elle-même : les secousses qui résultent de là, et qui sont transmises à l'organe de l'ouïe, sont la cause des sons, dont l'élévation croît avec le nombre des interruptions dans un temps donné. Sous ce point de vue aussi, les effets des chocs d'un corps sur l'organe du toucher font parallèle aux phénomènes que présente l'organe auditif; car, lorsqu'il vient à être touché par un diapason vibrant, le nerf sensitif reçoit aussi une succession rapide de chocs, dont chacun, pris à part, n'aurait été point en état de produire la sensation du chatouillement.

La faculté de distinguer le temps, dans la succession des impressions, appartient à tous les sens; seulement elle est très-prononcée dans le nerf acoustique, où elle a acquis un développement extraordinaire. L'instrument de Savart, dans lequel les sons résultent du frottement d'une roue tournante contre un corps, a fourni le moyen de déterminer avec plus de précision qu'on n'avait pu le faire jusqu'alors, quels sont, parmi les sons, les plus aigus et les plus graves que l'oreille humaine ait l'aptitude de distinguer. Savart a montré que, quand la force est suffisante, on perçoit encore des sons qui correspondent à vingt-quatre mille chocs ou quarante-huit mille vibrations simples par seconde. Deux chocs successifs ou quatre vibrations à la suite l'une de l'autre suffisent déjà pour former un son appréciable, c'est-à-dire qu'un son qui, pour durer une seconde, exige mille chocs pendant ce laps de temps, devient perceptible alors même seulement qu'on n'entend que deux chocs, et peut être distingué d'un autre son qui aurait deux mille chocs et plus par seconde. D'où il suit que l'ouïe

peut distinguer jusqu'à un douze millièmes de seconde, puisque le son le plus aigu qu'il soit possible d'obtenir avec l'instrument de Savart comporte vingt-quatre mille chocs par seconde.

L'œil peut bien communiquer l'image d'un corps vibrant au sensorium, et il distingue les vibrations lorsqu'elles sont très-lentes; mais, dans ce cas, les vibrations ne sont point communiquées au nerf optique, de sorte que celui-ci les répète de la même manière que peut le faire le nerf acoustique par son expansion sur les parties qui contiennent l'eau du labyrinthe. Le nerf optique ne se trouve pas dans des conditions telles qu'il puisse propager ou recevoir des vibrations de l'espèce de celles d'un corps sonore; il faudrait pour cela que, à l'instar du nerf acoustique, il s'étalât sur des sacs membraneux pleins d'eau, entourés aussi de liquide à l'extérieur, et communiquant avec un appareil conducteur des vibrations. Si le nerf optique était apte à percevoir les vibrations comme le nerf acoustique et le nerf tactile, une vibration d'un corps, transmise par l'air à la rétine de l'œil, devrait y faire naître une sensation générale de lumière, comme elle en détermine une de son dans l'organe auditif. J'ai déjà eu l'occasion de dire que les secousses d'un diapason, quand l'instrument touche le bulbe de l'œil, ne sont pas suffisantes pour exciter la sensation spéciale du nerf optique dans l'obscurité. La cause peut tenir à la faiblesse des secousses, ou à leur lenteur. Peut-être la faiblesse des secousses, qui n'agissent pas immédiatement sur la rétine, est-elle le point capital; car un choc violent imprimé à la partie de l'œil où se trouve la rétine, donne lieu à la sensation de la lumière. Peut-être aussi des chocs, même très-faibles, excitent-ils cette sensation, lorsque, se répétant avec une bien plus grande rapidité, ils portent sur la rétine elle-même. C'est sous ce point de vue que se placent les effets sur l'œil de la lumière extérieure, dont l'action mécanique par des oscillations est celle

qui réunit le plus de probabilités en sa faveur dans l'état présent de la physique. Newton s'était déjà servi de la théorie des ondulations de la lumière pour expliquer la vision. Dans cette théorie, les couleurs sont attribuées à la vitesse des vibration et des ondes lumineuses. Les ondes lumineuses qui produisent la sensation du bleu sont les plus courtes. Suivant Herschel, leur longueur est de 16,7 millionièmes de pouce anglais, et leur nombre de sept cent vingt-sept billions par seconde. Les ondes lumineuses du rouge sont les plus longues; leur longueur est de 26,7 millionièmes de pouce, et leur nombre de quatre cent cinquante-huit billions par seconde. Les vibrations des corps qui produisent des sons sont beaucoup plus lentes. La colonne d'air du tuyau d'orgue de trente-deux pieds fait trente-deux vibrations par seconde. Selon Savart, on peut déjà apprécier des sons qui résultent de sept à huit coups par seconde, et quand chaque vibration fait une impression d'un seizième de seconde.

Nous sommes informés de certains effets chimiques par plusieurs sens, principalement par l'odorat, le goût, le toucher, dont chacun nous les exprime au moyen de son énergie spéciale. A la vérité, c'est sur l'odorat qu'agissent avec le plus de force les corps volatils qui exercent une influence chimique sur les nerfs, et ce sens éprouve l'action de plus d'une substance qui ne fait aucune impression sur ceux du goût et du toucher, comme sont beaucoup de matières odorantes, en particulier les émanations des métaux, du plomb, de beaucoup de minéraux, etc. Mais, en général, on ne peut pas dire qu'il n'y ait que l'organe olfactif qui perçoive les substances volatiles; car celles-ci peuvent également agir sur les organes du toucher et du goût quand elles sont de nature à exercer une action chimique sur eux, et qu'elles se dissolvent dans les liquides qui les couvrent. Certaines substances volatiles agissent avec beaucoup de violence sur les nerfs sensitifs de quelques membranes muqueuses, par exemple de la con-

jonctive, de la muqueuse pulmonaire, et n'y font naître que de simples impressions tactiles; telles sont les émanations du raifort et de la moutarde; tels sont encore les gaz âcres et suffocans. Il y en a beaucoup aussi qui excitent vivement l'organe tactile de la peau dénudée de son épiderme, et qui y provoquent la manifestation des qualités propres aux nerfs du toucher, comme de l'ardeur, des douleurs, etc.

On ignore si les liquides peuvent agir sur l'organe olfactif de manière à y provoquer la sensation des odeurs. La situation cachée de cet organe rend assez rares les occasions de faire des expériences à ce sujet. Quoique jusqu'à présent on n'ait encore jamais rien observé de semblable chez l'homme, nous ne sommes cependant point en droit de nier *à priori* que la chose puisse avoir lieu, puisque les émanations volatiles sont obligées de se dissoudre dans l'humidité des surfaces muqueuses, avant d'agir sur les nerfs olfactifs. D'ailleurs les Poissons nous offrent l'exemple d'animaux qui flairent des substances dissoutes, et je ne vois aucune difficulté à admettre qu'un animal puisse sentir les liquides dans les qualités des nerfs olfactifs tout aussi bien que dans celles des nerfs gustatifs. Entre flairer dans l'air et flairer dans l'eau, il y a le même rapport qu'entre respirer dans l'air et respirer dans l'eau.

Les liquides déterminent dans les nerfs, tant de l'organe du toucher que de l'organe du goût, des modifications chimiques que chacun de ces nerfs sent d'une manière différente. La moutarde agit tout autrement sur la peau que sur la langue : il en est de même des acides, des alcalis, des sels. A la vérité, l'action chimique de ces substances doit être la même partout, mais la réaction varie suivant les forces qui animent les nerfs. A la langue, les deux genres d'effets ont lieu très-probablement dans des nerfs différens, et peuvent être excités par une même substance. De tous les nerfs, celui du goût est le plus exposé aux actions chimiques, et le plus sus-

ceptible de ressentir les moindres modifications de la constitution chimique des corps. Les états dans lesquels les nerfs du toucher sont mis par les actions chimiques, présentent infiniment moins de variétés quant au mode de sensibilité tactile ; à la peau du moins, ces nerfs sont garantis par l'épiderme de l'impression des agens chimiques.

Par leur conflit avec les agens chimiques du dehors, les trois sens inférieurs, l'odorat, le goût et le toucher, jouent un rôle important lorsqu'il s'agit de distinguer et de reconnaître les substances, quoiqu'aucun d'eux ne nous fournisse la moindre donnée relativement aux propriétés intimes des corps. Les impressions ne sont même ni constamment identiques quand elles proviennent de corps ayant la même constitution chimique, ni constamment différentes lorsqu'elles sont dues à des corps dont la composition chimique diffère.

Les sens supérieurs ne sont point exposés à l'action des modificateurs chimiques du dehors, d'où il faut bien se garder néanmoins de conclure que les sens inférieurs sont seuls susceptibles de la ressentir.

Une différence fort importante entre les sens est celle qui naît de la manière dont ils nous informent de la distance des corps. A proprement parler tous n'indiquent que ce qui a lieu immédiatement et présentement en eux. L'œil ne sent rien des corps éclairés; il est rencontré par les extrémités des rayons lumineux qui parviennent jusqu'à lui, et il sent les points de la rétine que ces rayons affectent. L'organe auditif ne sent rien des corps vibrans, et il ne sent que les chocs qui lui sont communiqués à l'occasion de leurs vibrations. Mais l'imagination ne tarde pas à acquérir un empire tel, dans les actes du sens de la vue, que ce sens nous semble agir en dehors, que les objets eux-mêmes prennent la place de leurs images superficielles, et que l'image d'une région qui a pour espace l'encadrement d'une croisée, devient pour nous l'intuition des objets voisins et éloignés eux-mêmes. Dans les

sens inférieurs, l'imagination n'a pas le pouvoir de changer à ce point la sensation : nous en transportons bien aussi le contenu aux objets; mais comme les objets excitent les sensations du toucher et du goût par leur contact immédiat, la réflexion nous procure sur-le-champ la conscience du plus ou moins de certitude avec laquelle l'affection de nos organes permet que nous admettions telle ou telle propriété dans les corps mis en contact avec eux.

IX. *Il n'est pas dans la nature même des nerfs de placer actuellement hors d'eux le contenu de leurs sensations ; l'imagination instruite par l'expérience, qui accompagne nos sensations, est la cause de ce déplacement.*

Pour connaître l'action première et spontanée des sens, indépendante de toute éducation, il faudrait que nous pussions avoir un souvenir parfait de nos premières impressions sensorielles, indépendamment de toute idée acquise par elles; or cela est impossible, car, même chez l'enfant, les premières impressions que ses sens reçoivent, sont déjà accompagnées d'idées. Le seul moyen qui nous reste est d'examiner les actes de la sensation et de la représentation, eu égard à leur contenu. En analysant l'opération de l'esprit qui a lieu pendant l'exercice d'un sens, nous trouvons deux oppositions; le sujet possédant la faculté de sentir et la conscience de soi-même, pour lequel les états de son corps, dus à des causes internes ou externes, deviennent des objets immédiats, et le monde extérieur avec lequel le corps de ce sujet entre en conflit. Pour la conscience, pour le moi, toute sensation, toute modification déterminée par une cause du dehors, toute passion, est déjà une chose extérieure. Le moi s'oppose comme sujet libre aux sensations les plus violentes, aux douleurs les plus aiguës. Le membre qui nous cause de la douleur peut être enlevé sans que le moi en ressente aucune atteinte, et celui-ci peut perdre la plupart des membres de l'organisme, sans pour cela cesser d'être ce qu'il était aupa-

ravant. Mais, en se plaçant sous ce point de vue de l'idéalisme, il n'y a point encore de distinction faite entre cet extérieur que nos membres vivans représentent, par rapport au moi, à la conscience, à l'âme, et cet autre extérieur constitué par les corps qui entourent le nôtre. C'est dans le sens du toucher qu'on parvient le plus facilement à reconnaître comment cette distinction s'établit, et il est aussi le premier de tous qui entre en conflit actif avec le monde extérieur. Si nous supposons un être humain qui, sans jamais avoir éprouvé une seule sensation visuelle, comme l'enfant dans la matrice, n'ait eu que de simples sensations tactiles dues à des impressions faites du dehors sur son corps, la première idée vague et confuse ne pourra être que celle du moi modifiable, par opposition avec quelque chose qui le modifie. La matrice, qui oblige l'enfant à garder une situation déterminée, et qui provoque en lui des sensations, est à cette époque la cause immédiate de la conscience qu'il acquiert de cette opposition. Mais comment se produit celle de deux extérieurs, celui que les membres du propre corps de l'enfant constituent, eu égard à son moi, et celui du véritable monde extérieur? Ce phénomène a lieu de deux manières. D'abord, l'enfant est maître des mouvemens de ses membres, et les membres qu'il meut de sa propre volonté, il les sent comme des instrumens soumis à son moi : au contraire, il n'est pas maître de la résistance que lui oppose son entourage, et cette résistance lui procure l'idée d'un extérieur absolu. En second lieu, les sensations diffèrent suivant que deux parties de son corps se touchent l'une l'autre, produisant ainsi une double sensation dans les parties mises en contact, ou suivant qu'une partie de son corps perçoit seulement la résistance du dehors. Dans le premier cas, celui, par exemple, où un bras touche l'autre, la résistance est le propre corps de l'enfant lui-même, et le membre qui l'oppose n'éprouve pas moins de sensation que l'autre membre qui touche : les membres, tout à la fois, sentent et sont ob-

jets extérieurs de sensation. Dans le second cas, ce qui porte obstacle procure à la conscience la notion d'un objet extérieur qui n'appartient pas au corps vivant, le membre qui touche n'éveille pas l'idée d'une partie soumise au moi et appartenant au tout vivant. Il naîtra donc dans l'enfant la notion d'une résistance que son propre corps peut opposer à d'autres parties de son corps, et en même temps celle d'une résistance qu'un extérieur absolu peut offrir aux parties de son propre corps. Dès-lors la notion d'un monde extérieur, comme cause de sensations, existe. Quoique l'être animal ne sente jamais immédiatement que sa propre personne, ses nerfs affectés, sa peau affectée, la sensation des causes extérieures devient dès-lors inséparable de celle du toucher. La sensation de tout homme adulte en est à ce point. Quand nous posons la main sur une table, nous avons bien sur-le-champ la conscience, en y réfléchissant, de sentir seulement la partie de notre main qui touche la table, et non celle-ci elle-même; mais, si nous n'y réfléchissons pas, nous confondons de suite la sensation de la surface touchée de notre peau avec l'idée de la résistance, et nous prétendons hardiment que nous sentons la table elle-même, ce qui n'est pas vrai. Si nous promenons la main sur cette table, il naît en nous l'idée d'un corps plus grand que celui qui pourrait être couvert par elle. S'il faut, pour embraser la résistance, que la main se meuve en diverses directions, nous acquiérons l'idée de surfaces qui sont placées en différens sens, et par conséquent d'un corps extérieur remplissant une certaine étendue de l'espace. La sensation que nous avons des mouvemens de muscles nécessaires pour cela, est la cause prochaine de cette notion du corps extérieur, car la première idée d'un corps étendu ou remplissant l'espace naît de la sensation de notre propre corporalité. Notre propre corporalité est la mesure d'après laquelle nous jugeons, dans ce qui a rapport au toucher, de l'étendue de tous les corps qui nous opposent de la résistance.



La question de savoir si l'idée de l'espace existe primordialement dans le sensorium, et influe sur toutes les sensations, ou si elle se produit d'une manière successive par le fait de l'expérience, peut être passée ici sous silence. Nous y reviendrons lorsque nous traiterons des fonctions de l'âme. Ce qu'il y a de certain, c'est que si l'idée de l'espace n'existe pas primitivement dans le sensorium, de manière à n'être qu'éveillée et appliquée quand nous sentons, elle doit naître expérimentalement dès les premiers momens que le sens du toucher entre en exercice.

L'idée vague d'un corps sentant, opposé au monde extérieur et remplissant lui-même l'espace, et celle de l'étendue des choses extérieures dans ce même espace, existent déjà, ont même acquis un certain degré de lucidité, avant que le sens de la vue entre en action, au moment de la naissance. Elles rendent promptement intelligibles les sensations du sens de la vue, auxquelles l'individu ne tarde pas à faire l'application des notions qu'il a déjà acquises.

Il est extrêmement difficile, sinon même totalement impossible, de se figurer avec quelque vraisemblance comment l'enfant juge les premières impressions qu'il reçoit sur sa rétine, et de décider s'il considère l'image formée dans l'œil comme une partie de son corps ou comme une chose hors de lui. Dans tous les cas, il ne peut y avoir croyance à l'identité de l'image avec le moi : car, de même que la douleur et tout ce qui est senti, elle constitue un objet opposé à ce moi, au sujet. Mais c'est une autre question que celle de savoir si elle est réputée partie intégrante du corps vivant, ou chose située hors du corps, à distance de lui. On a souvent prétendu qu'il est dans la nature du sens de la vue que le sujet ne se représente pas la sensation dans l'endroit où elle a lieu, comme il le fait par le sens de la vue ; que la rétine ne se perçoit pas elle-même à l'état de sensation ; et que celle-ci est rapportée non pas au lieu même de la rétine, mais loin de là, à l'en-

droit où se trouve un objet. Cependant on ne saurait donner la preuve de ces assertions ; car l'obscurité devant les yeux fermés, qui est la sensation du repos et de l'état non excité de la rétine, n'est sentie non plus qu'au devant des yeux, par conséquent au lieu où se trouve l'organe sensible, et elle ne l'est jamais ni derrière nous, ni sur les côtés, ni à distance. Mais ce champ visuel obscur des yeux fermés est précisément la table rase sur laquelle tous les contours des formes visibles se dessinent ensuite comme affection de parties déterminées de la rétine.

Si les idées des objets extérieurs, comme causes de la sensation au moyen du sens de la vue, n'étaient pas déjà nées, le premier exercice de la vue devrait être suivi du même acte que nous avons vu succéder au premier exercice du toucher. Les affections de la rétine apparaîtraient au moi comme objet opposé à lui, mais d'une manière vague, et sans qu'on sût si elles ont lieu hors du corps vivant ou en lui. Mais l'enfant vient au monde avec une idée confuse et de son propre corps et des choses extérieures, avec l'idée de la réalité de ces dernières comme causes de sensations. Il confond déjà la sensation et l'idée de l'objet de la sensation. Voici ce qui doit se passer ensuite, autant du moins qu'il est permis de le conjecturer.

Les images des objets sont réalisées en surface dans la rétine, qui n'a elle-même d'étendue qu'en surface. Elles ne procureront donc que l'idée d'une surface, sans en faire naître aucune de proximité, d'éloignement, ni de corporalité. Quelque promptement que l'enfant les établisse hors de lui, ce sont pour lui des surfaces placées à une certaine distance, et il cherche à saisir les plus éloignées comme les plus rapprochées : il veut prendre la lune. L'aveugle-né à qui Cheselden rendit la vue par l'opération, voyait toutes les images comme si elles eussent été étendues sur une surface, quoique le sens du toucher eût développé en lui des idées très-nettes

du monde corporel : il lui semblait que les objets pénétrassent en lui.

La distinction entre les images du monde extérieur et celle du propre corps, qui se représente avec le monde extérieur dans le cadre du champ visuel, aura lieu de la manière suivante. Une partie de notre corps projette une image dans notre œil, comme le ferait un objet du dehors. Cette partie de notre corps visible à nous-mêmes avec les objets extérieurs, est plus ou moins grande selon sa situation : elle peut être une portion considérable ou faible du tronc ou des membres ; quant à notre tête, l'image projetée sur notre rétine n'en contient qu'une très-petite partie, savoir les surfaces et le bout du nez, les sourcils abaissés et les lèvres. Cette image de notre corps occupe régulièrement, dans presque toutes les impressions visuelles, une place déterminée à la partie supérieure, moyenne, inférieure, du champ visuel : elle demeure constante, tandis que les autres images varient continuellement.

Ainsi, l'enfant distingue bientôt l'image de son propre corps, qui est constante, de celles qui se déplacent suivant les mouvemens du corps et des yeux. Les mouvemens de cette image de son corps ne tardent pas à lui procurer plus sûrement encore l'idée de son propre corps, par opposition aux corps absolument extérieurs. Car, à ces mouvemens qu'il voit dans l'image de la rétine correspondent des mouvemens réels et intentionnels du corps lui-même. Les sensations tactiles qu'il a de son corps se combinent avec les sensations visuelles qu'il en acquiert. Lorsqu'il touche une partie de son corps avec sa main, il voit, dans l'image de la rétine, cet acte accompli aussi par le corps, puisque l'image de la main y touche l'image du corps. De cette manière les idées deviennent tellement arrêtées, pour les sensations visuelles, que nous ne nous contentons pas de placer hors de nous l'image, qui ne consiste essentiellement qu'en un assemblage d'affec-

tions de parties aliquotes de notre rétine, et que nous confondons complétement ce que nous sentons avec les objets, malgré les différences de grandeur.

Il y a plus encore : le champ visuel, qui n'est qu'une surface, ne tarde même pas à devenir, dans la représentation, un espace étendu en toutes directions. Car, à chaque mouvement de notre corps, à chaque pas fait en avant, les formes des images changent, ce qui était éloigné se rapproche de nous, et ce qui était proche nous présente d'autres côtés. Ce déplacement des images dans l'organe visuel, pendant la locomotion de notre corps, doit produire en nous le même effet que si nous marchions entre elles ; car l'image de notre propre corps se rencontre, pendant le mouvement, avec des images d'objets extérieurs qui changent à chaque instant, et la locomotion est la cause de ces déplacemens.

Concluons de tout ce qui précède que la faculté de rapporter au dehors ce dont nous avons la sensation, est un résultat du concours de l'imagination et des nerfs, et non l'effet du sens seul, qui, livré à lui-même, ne sentirait autre chose que ses affections.

X. *Non seulement l'âme reçoit le contenu des sensations acquises par les sens, et les interprète de manière à produire des représentations ou des idées, mais encore elle a de l'influence sur ce contenu, en donnant plus de précision et de netteté à la sensation. Cette intention peut s'isoler, pour les sens qui distinguent l'étendue, aux diverses parties de l'organe sensible, et pour ceux qui distinguent le temps, aux divers actes de la sensation. Elle peut aussi faire acquérir à un sens la prépondérance sur les autres.*

L'attention ne saurait se consacrer à un grand nombre d'impressions à la fois. Si plusieurs ont lieu en même temps, leur netteté diminue en raison de leur multiplicité, ou l'âme n'en perçoit qu'une bien distinctement, et n'a qu'une notion confuse des autres, ou même n'en est point du tout informée. Si

l'attention est détournée des nerfs sensoriels, et que l'âme soit plongée dans la méditation on absorbée par des passions profondes, les sensations des nerfs demeurent complétement indifférentes au moi, qui ne s'en aperçoit pas, c'est-à-dire qui n'en a pas la conscience, qui du moins en a une si faible, que l'âme ne peut point s'y arrêter, à cause de la prédominance d'une idée fixe, ou qu'elle ne s'en souvient qu'an bout d'nn certain laps de temps, quand l'équilibre est rétabli, quand l'idée qui l'occupait a en quelque sorte abandonné le plateau de la balance. On conçoit aisément, d'après cela, le degré de perfection que certains sens peuvent acquérir, lorsque d'autres demeurent dans une inaction absolue : l'attention, alors, ne se trouve plus partagée entre plusieurs sens, et elle se consacre tout entière à l'analyse des sensations de celui qui l'occupe. Le toucher est tellement perfectionné chez les aveugles, qu'ils distinguent sans peine de très-petites aspérités, par exemple les reliefs d'une pièce de monnaie, et qu'ils parviennent même quelquefois à distinguer le corps ou le grain d'une couleur de celui d'une autre.

Mais l'intention analyse aussi les détails d'une sensation. Comme l'âme n'est pas capable de consacrer la même attention à toutes les parties d'un point affecté de la peau, la sensation de ces parties ne devient nette que d'une manière successive, par le transport de l'attention d'une portion des fibres nerveuses à d'autres. L'intention peut faire qu'une faible sensation de prurit dans un point de la peau du visage acquière un degré extraordinaire d'intensité fatigante et de durée, taudis qu'elle se dissipe d'elle-même lorsqu'on parvient à l'oublier, La même chose a lieu pour l'organe de la vue. Si l'on voulait consacrer son attention à l'étendue entière du champ d'une sensation visuelle, on ne verrait rien d'une manière nette. L'intention se porte tantôt sur un point, tantôt sur un autre; elle passe successivement en revue les détails de la sensation, et ce sur quoi elle s'appesantit est toujours mieux vu que le

reste de la même sensation. Il ne faut pas entendre seulement par-là que le milieu de la rétine, où la sensation a le plus de vivacité, se tourne successivement vers diverses parties de l'objet, de manière que le reste soit vu d'une manière indistincte; car, sans que l'axe visuel change, l'intention peut aussi se consacrer à la partie de la sensation visuelle qui est située sur le côté. Lorsque nous considérons une figure mathématique complexe, nous pouvons, l'axe visuel restant le même, voir successivement mieux les divers élémens dont elle se compose, et ne pas faire attention aux restes de la figure. Un carré traversé par des lignes nous cause une tout autre impression, suivant que nous devenons attentifs à telle ou telle partie de l'ensemble; nous pouvons nous occuper exclusivement d'un triangle, puis, au bout de quelques instans, arrêter notre attention sur une autre figure qui le traverse, et dont, tant que nous étions livrés à la contempler, nous n'apercevions pas les linéamens, bien qu'ils existassent déjà. Les décorations de l'architecture, les rosaces, les arabesques, sont dans le même cas, et le charme de ces figures tient en grande partie à la puissance avec laquelle elles forcent notre attention à se promener, pour ainsi dire, sur les détails, ce qui semble leur donner pour nous une sorte d'animation. Il est vrai qu'en général, les deux yeux, quand ils jouissent de la même portée, voient simultanément; mais l'intention peut rendre prédominante l'impression reçue par l'un d'eux, comme je le prouverai empiriquement par la suite; on n'a pas de peine à démontrer, d'une manière péremptoire, que, quand nous regardons de nos deux yeux, une sorte de rivalité s'établit entre eux, à notre insu, même dans les conditions les plus ordinaires de la vue, et que l'impression est toute différente après la rupture de l'équilibre. Je citerai, par exemple, l'expérience dans laquelle on regarde une feuille de papier blanc avec les deux yeux armés de verres d'une couleur diverse; les impressions du bleu et du jaune se mêlent difficile-

ment ensemble ; c'est tantôt le bleu et tantôt le jaune qui prédomine ; dans certains momens, on aperçoit des taches nuageuses bleues sur un fond jaune, ou des taches jaunes, de grandeur variable, sur un fond bleu ; dans d'autres, l'une des couleurs règne seule et absorbe entièrement l'autre. L'apparition par taches d'une des couleurs sur l'autre prouve même que l'intention peut se partager entre une partie de la rétine d'un œil et certaines parties de la rétine de l'autre.

Dans le sens de l'ouïe, qui ne distingue pas l'étendue comme ceux de la vue et du tact, mais qui a une sensibilité si délicate pour les divisions du temps, les effets de l'intention sont différens. L'organe auditif distingue localement tout au plus que c'est l'une ou l'autre oreille qui entend, ou qui entend mieux, et alors il se peut très-bien sans doute que, quand les deux oreilles sont frappées de sons différens, l'attion se consacre davantage à l'une ou à l'autre impression. Mais ce qu'il y a d'admirable, c'est l'effet de l'intention relativement à la distinction des sons faibles : d'ordinaire, les faibles sons accessoires ou harmoniques des cordes et autres instrumens de musique passent inaperçus ; or l'intention peut en rendre la sensation assez prononcée pour qu'elle nous frappe, et elle jouit de la même puissance à l'égard des moindres bruits. Une aptitude plus surprenante encore est celle de pouvoir, parmi les nombreux sons simultanés que fait entendre un orchestre, suivre à volonté ceux de tel ou tel instrument, qui, bien que plus faibles que les autres, diminuent alors l'impression de ces derniers sur notre organe.

Avant de terminer cette introduction, j'ai encore à examiner la question de savoir si le nombre des sens est limité, et s'il ne peut pas y en avoir, chez certains animaux, d'autres que ceux qui appartiennent à notre espèce. On connaît l'illusion dans laquelle Spallanzani est tombé en attribuant un sens particulier aux Chauve-souris, parce qu'il les voyait, après la perte de leurs yeux, voler encore avec assez d'adresse pour

éviter de se heurter contre les murailles. On sait aussi que certains auteurs ont accordé un sens spécial aux animaux pour expliquer l'espèce de pressentiment qu'ils ont des changemens de temps. Comme l'état de la pression atmosphérique, la quantité de vapeur aqueuse dans l'air, la température, l'électricité, exercent une action considérable sur l'économie animale entière de notre corps, on conçoit très-bien la possibilité d'une telle influence de leur part, et même d'une plus prononcée encore, sur certains animaux : mais, dans quelque dépendance qu'un être vivant puisse être placé des variations du temps, il n'y a point pour cela, sous le rapport de la sensation, de nouveau sens chez lui. La constitution atmosphérique peut être sentie par les états du système nerveux entier, et surtout par les sensations des nerfs qui sont les plus nombreux, qui sont le plus exposés à son influence, les nerfs tactiles. Un sens spécial pour l'électricité n'est point admissible *à priori;* car l'électricité agit sur tous les sens, dont elle excite les énergies particulières. L'essentiel d'un nouveau sens ne tient pas à ce qu'il procure la perception d'objets extérieurs qui n'agissent point ordinairement sur les sens, mais à ce que les causes extérieures provoquent un mode spécial de sentir qui ne se trouve pas encore contenu dans les sensations de nos cinq sens. Un mode particulier de sentir dépendrait des forces du système nerveux. Sans doute on ne saurait affirmer *à priori* qu'il n'existe rien de semblable chez aucun animal; mais aucun fait connu ne nous autorise à penser le contraire, et d'ailleurs il est absolument impossible de rien apprendre touchant la nature d'une sensation sur d'autres que sur soi-même.

On a voulu considérer comme une sorte de sens à part les sensations internes au moyen desquelles nous sommes informés des états de notre corps, l'espèce de sensibilité générale ou collective qui a reçu le nom de *cœnæsthesis.* Cette distinction est vicieuse; car les sensations que la sensibilité géné-

rale nous procure sont du même genre que celles de la peau, senlement plus vagues et plus confuses dans certains organes. Peu importe pour le sens qu'il soit exercé du dehors ou du dedans, et il n'y a pas de sens dans lequel nous distinguions les sensations objectives et les sensations subjectives comme deux choses essentiellement différentes l'une de l'autre. A la vérité, le mot de toncher n'exprime qu'un rapport particulier dn sens tactile, son rapport avec le monde extérieur; mais le toucher n'amène à la perception que les énergies de ce sens, auxquelles servent partout les mêmes nerfs à racines doubles, les nerfs cérébraux et spinaux mixtes. Lorsqu'on veut signaler la mise en action de ce sens par la volonté, on dit palper, au lieu de toucher, tout comme, pour rendre la même idée à l'égard des autres sens, on remplace les mots de voir, entendre, goûter et odorer, par ceux de regarder, écouter, savourer et flairer.

Section première.

Du sens de la vue.

CHAPITRE PREMIER.

Des conditions physiques des images en général.

I. Espèces possibles d'appareils de vision.

Des faits exposés dans les notions préliminaires, il résulte que la lumière et la couleur sont des sensations du nerf optique et de la rétine, et que l'obscurité devant les yeux est la sensation du repos de la rétine, de son état de non-excitation. Les sensations de la lumière et des couleurs naissent de l'obscurité de la rétine tranquille, toutes les fois que des par-

ties aliquotes de cette membrane sont excitées par un stimulus quelconque, interne (sang, etc.) ou externe (pression, électricité, etc.). La sensation de lumière change de place sur le champ visuel obscur, suivant le point irrité de la rétine. L'image produite par la pression d'un côté de l'œil fermé a son emplacement déterminé; celle à laquelle donne lieu la pression de l'autre côté a aussi le sien, à l'opposite du précédent; celles qui dépendent de la compression des parties supérieure et inférieure de la rétine sont également opposées. Lorsque le corps comprimant est petit, par exemple, une pointe mousse, et que par conséquent la pression n'a intéressé qu'une étendue peu considérable de la rétine, l'image lumineuse est petite aussi. Si, au contraire, la pression exercée sur les côtés de l'œil a une certaine largeur, comme celle qui résulte du bord d'un corps anguleux, l'image offre une étendue correspondante. Ces images ne sont pas nettement tranchées, parce que la pression sur l'œil, à travers les paupières et les membranes oculaires, agit aussi jusqu'à un certain point dans le sens de la largeur. Mais s'il était possible d'isoler parfaitement la pression et de la réduire à des points déterminés de la rétine, on obtiendrait aussi, sans nul doute, des images bien délimitées, par fait de cause mécanique. Le principe impondérable qui a reçu le nom de lumière parce que les affections lumineuses de la rétine proviennent ordinairement de lui quand il affecte la rétine entière d'une manière uniforme, produit en elle la sensation d'une lumière répandue sur tout le champ visuel, et remplace par un champ éclairé l'obscurité tranquille qui régnait devant les yeux. Mais si ce principe bienfaisant et homogène à l'excitation de la membrane nerveuse agit sur quelques portions seulement de cette dernière, les parties aliquotes irritées de la rétine représentent, dans la sensation, des images claires limitées, tandis que les parties non irritées demeurent obscures, comme quand on ferme les yeux. C'est ainsi qu'il devient possible de

voir des corps, soit que ceux-ci fournissent directement ce principe et brillent par eux-mêmes, soit que, dépourvus d'éclat propre, mais recevant la lumière d'autres corps lumineux, ils la réflètent en raison de leur opacité, et la rejètent ainsi dans l'œil qui la sent. La sensation de lumière naît alors dans un point déterminé de l'œil, et l'on croit avoir devant soi le corps, qui ne fait cependant que réfléchir le principe excitateur de cette sensation, après l'avoir reçu d'ailleurs.

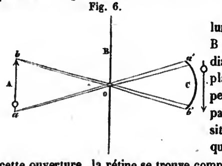
Mais, pour que la lumière projète sur la rétine l'image des objets d'où elle part, il faut que celle qui provient de parties déterminées des corps extérieurs, soit immédiatement, soit par réflexion, ne mette non plus en action que des parties correspondantes de la rétine, ce qui rend nécessaires certaines conditions physiques. La lumière qui émane d'un corps lumineux se répand en rayonnant dans toutes les directions où elle ne rencontre pas d'obstacles à son passage : un point lumineux éclairera donc une surface tout entière, et non un point unique de cette surface. Si la surface qui reçoit la lumière irradiante d'un point est la surface nue de la rétine, la lumière de ce point fait naître la sensation de lumière dans la totalité, et non dans une partie seulement de la membrane nerveuse, et il en est de même pour tous les autres points lumineux qui peuvent illuminer en rayonnant la rétine. Supposons que A soit la surface concave de la rétine; la lumière rouge de *a* éclairera toute cette membrane; la lumière incolore de *b* fera de même, ainsi que la lumière jaune de *c*, de sorte que la rétine entière A verra rouge, blanc et jaune, c'est-à-dire que chacun de ses points sera stimulé à la fois par de la lumière rouge, blanche et jaune; l'impression ne pourra correspondre aux points diversement colorés *a*, *b*, *c*; elle sera mixte, et produite par le mélange du rouge, du blanc et du jaune, sans que *a*, *b*, *c* puissent être

Fig. 5.

distingués comme points séparés. Il en sera de même si la rétine est convexe en dehors, comme chez les Insectes et les Crustacés. Ainsi une rétine nue, sans appareil optique séparant la lumière, ne verrait rien de déterminé : il lui serait possible seulement d'apercevoir la clarté du jour en général et de la distinguer des ténèbres.

En conséquence, pour que la lumière extérieure excite dans l'œil une image correspondante aux corps, il faut, de toute nécessité, la présence d'appareils qui fassent que la lumière émanée des points *a*, *b*, *c*.... *n* agisse seulement sur des points de la rétine isolés, disposés suivant le même ordre, et qui s'opposent à ce qu'un point de cette membrane soit éclairé à la fois par plusieurs points du monde extérieur. Le résultat est possible de trois manières; mais la nature n'a employé, dans la construction des yeux, que deux sortes d'appareils de ce genre.

Fig. 6.



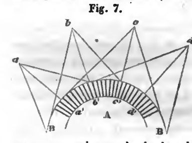
1° Soit A le corps lumineux, C la rétine, B un plan intermédiaire entre A et C. Ce plan est opaque, et ne permet à la lumière de passer que par un trou situé en *o*, de sorte qu'à l'exception de cette ouverture, la rétine se trouve complétement à l'ombre. Les rayons lumineux de *a*, traversant *o*, n'apparaîtront qu'en *a'* de la rétine, les rayons lumineux de *b*, traversant *o*, n'apparaîtront également qu'en *b'*, et chaque point du corps *a*....*b* sera représenté en un point particulier de la rétine *a'*....*b'*. Car *a* et *b*, dans le corps A, sont des points mathématiques, tandis que *a'* et *b'*, dans la rétine éclairée, sont de petites surfaces, qui ont d'autant plus d'étendue et rendent l'image d'autant moins nette, que l'ouverture *o* du plan est plus

grande. Plus l'ouverture *o* est petite, plus l'image est nette, mais plus aussi elle est obscure, car le volume du cône de lumière que chaque point *a*....*b* du corps envoie à cette ouverture est en raison inverse de son diamètre.

La nature n'a point fait usage de cet appareil, probablement parce que le résultat eût été trop faible, et qu'il n'eût été possible d'obtenir l'intensité de la lumière de chaque point qu'aux dépens de la netteté.

2° Le second moyen de séparer les rayons lumineux pour produire une image sur la rétine, est celui sur lequel j'ai appelé l'attention dès 1826. Au devant de la rétine sont dressés perpendiculairement, les uns à côté des autres, des cônes transparens, en quantité innombrable, qui ne laissent parvenir à la membrane nerveuse que la lumière dirigée suivant le sens de leur axe, et absorbent, au moyen des pigmens dont leurs parois sont revêtues, toute celle qui vient les frapper obliquement. Soit A la rétine, représentant la surface d'une sphère, les cônes transparens B doivent se trouver dans les rayons de cette sphère. La lumière partie de *a*, *b*, *c*, *d*, ne peut envoyer jusqu'à la rétine que ceux qui sont placés dans la direction des rayons de la sphère. Ainsi, le point *a* quoiqu'il éclaire toute la surface de l'œil, ne projette son image que dans le seul point *a′* de la rétine; celle de *b* ne se forme non plus qu'en *b′*, celle de *c* qu'en *c′*, et celle de *d* qu'en *d′*. On voit que la netteté de l'image doit croître en raison du nombre des cônes dressés sur la surface de la rétine, que quand il y a mille cônes, mille particules du champ visuel sont représentées dans l'image, et que si le nombre des rayons transparens est de dix mille, la netteté de l'image se trouve décuplée. Cette organisation, que la théorie indiquait

Fig. 7.

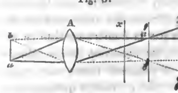


comme mode possible de construction d'un organe visuel, je l'ai trouvée réalisee dans les yeux composés de tous les Insectes et Crustacés. Il va sans dire qu'un tel organe doit avoir la forme d'une sphère ou d'un segment de sphère. Lorsque sa circonférence est assez déprimée pour se rapprocher d'une surface plane, les cônes implantés sur elle ont moins de divergence aussi, et l'œil ne correspond qu'à une petite partie du monde extérieur. Mais le champ s'accroît en raison directe de la convexité de l'œil, ou de la grandeur du segment de sphère. La représentation de l'image en plusieurs milliers de points séparés, dont chacun correspond à un petit champ du monde extérieur, ressemble à une mosaïque; une mosaïque construite avec beaucoup d'art est la meilleure idée qu'on puisse se faire de l'image que les créatures douées d'un pareil organe acquièrent des objets du dehors. Ce mode de séparation des rayons lumineux a l'inconvénient que la quantité de lumière qui vient frapper la rétine à travers un cône, est fort petite; mais il paraît que, chez nous-mêmes, comme on peut le remarquer aux approches de la nuit, une quantité très-faible de lumière, une partie infiniment petite de la lumière à laquelle nos yeux sont exposés pendant le jour, suffit pour la vue simple, pour celle qui ne tend pas à une appréciation minutieuse des détails; d'ailleurs la nature semble s'être plus attachée, dans la fabrication de notre œil, à modérer la lumière, qu'à en accroître l'intensité; la pupille la plus étroite suffit encore pour voir en plein jour.

3° Le procédé dont la nature s'est servi, dans l'appareil précédent, pour isoler sur divers points de l'organe la lumière émanant de points différens, consiste à exclure les rayons qui empêcheraient l'effet de se produire. Elle arrive au même but, avec bien plus de précision encore, et surtout avec une plus grande intensité de lumière, en obligeant à se réunir de nouveau sur un même point les rayons divergens qui émanent d'un autre point. Mais il faut alors que l'organe sensitif se

trouve précisément à l'endroit où les rayons aboutissent de nouveau à un même foyer, c'est-à-dire au sommet du cône lumineux. Cette condition, qui n'était point nécessaire dans le cas précédent, est ici de rigueur absolue. Supposons que le corps transparent A ait le pouvoir de réunir en un point *a'* la lumière qui émane de *a* et l'éclaire tout entier, qu'il puisse également réunir en *b'* les rayons partis de *b*, qu'il ait enfin la faculté de réunir en chacun des points compris entre *a'* et *b'* les rayons émanés de tous ceux qui sont intermédiaires entre *a* et *b*, une image aussi parfaite que possible de *ab* sera représentée en *a'b'*, et elle sera vue en ce dernier lieu si la rétine s'y trouve. Mais l'image sera imparfaite si la membrane nerveuse est placée en avant ou en arrière de *a'b'*, par exemple en *x* ou en *y* : car, dans ce cas, *a*, *b* et tous les points intermédiaires entre *a* et *b* projetteront sur la rétine, non plus un point qui leur corresponde, mais une surface, et la lumière de toutes les surfaces se confondra en une image diffuse.

Fig. 8.



Les corps qui ont le pouvoir de réunir ainsi la lumière sont les milieux transparens et réfringens. La forme la plus parfaite et la plus appropriée à l'organe visuel, qu'ils puissent avoir, est celle d'une lentille, comme je ne tarderai pas à le démontrer.

C'est ici le lieu de réfuter quelques fausses opinions qu'à fait surgir l'ignorance des conditions physiques nécessaires à la vision. On s'imagine assez souvent qu'il y a des animaux qui ont la sensation de la lumière par la peau. Nul doute assurément que certains animaux inférieurs, qui réagissent contre l'influnence de la lumière, soient dépourvus d'yeux. Rapp a observé qu'un Polype appelé *Veretillum cynnomorium* est très-sensible à la lumière, qu'il se contracte dès qu'il vient à en

être frappé, et qu'il affectionne les endroits obscurs. Quant aux Hydres, les expériences de Tremblay, de Backer, de Hanow, de Roesel, de Schaeffer, de Ch. Bonnet, de Goeze n'ont point donné de résultat précis. Ingenhouss et Goldfuss assurent que la matière verte de Priestley s'accumule dans les lieux éclairés. Il est très-possible que la matière verte qui s'amasse ainsi dans les endroits frappés par la lumière consiste en un assemblage d'Infusoires vivans; car beaucoup de ces animalcules ont une teinte verte, et plusieurs même sont munis d'yeux, comme l'a constaté Ehrenberg; mais ce qu'on nomme ordinairement matière verte de Priestley n'est souvent qu'un amas de corps morts d'Infusoires verts, tels que l'*Euglena viridis* et antres.

Quant à la réaction des animaux inférieurs privés d'yeux contre la lumière, aucun fait n'établit qu'en agissant sur la peau ou la surface entière du corps de ces êtres, le principe de la lumière ou les ondulations de ce principe produisent réellement la sensation de la lumière, et non une toute autre sensation. Notre peau nous fait sentir aussi quelque chose de ce principe, savoir la chaleur, mais elle ne nous la fait jamais sentir comme lumière, et, si nous voulons nous en tenir aux faits, il n'y a que le nerf optique qui soit capable de nous procurer cette sensation. Il est possible que, chez les animaux inférieurs privés d'yeux, les réactions contre la lumière soient du même genre. Les végétaux eux-mêmes réagissent avec assez de force contre elle, puisqu'ils la recherchent dans leurs expansions, et que leurs nouvelles pousses vont à sa rencontre.

La nécessité de nerfs particuliers, et doués d'une sensibilité spéciale, pour procurer la sensation de la lumière, est prouvée aussi par l'existence réelle d'yeux chez un grand nombre d'animaux des classes les plus inférieures. Beaucoup d'Annélides, tels que plusieurs Néréides, diverses espèces d'*Eunice*, de *Phyllodoce*, de *Spio*, de *Naïs*, presque toutes les Hirudinées, l'*Aphrodite heptacera*, ont des points oculaires de cou-

leur foncée à la tête. Un genre voisin des Sabelles, et qui a été observé par Ehrenberg, Henle et moi, présente deux de ces points obscnrs à l'extrémité postérieure et à l'extrémité antérieure du corps : il rampe aussi bien en avant qu'en arrière. E. H. Weber a fait voir que la Sangsue médicinale a dix yeux ponctiformes à la tête, et qu'on les distingue parfaitement bien chez l'embryon de cet animal, donc le corps est encore transparent. Les Planaires portent, à la tête, des taches oculaires remarquables par leur pigment. Nitzsch, Dutrochet (1), Gruithuisen, Ehrenberg ont également aperçu des points oculaires chez plusieurs Cercaires et Rotifères. Ehrenberg a constaté l'existence de ces points ou pigmens chez un grand nombre d'Infusoires, et chez les Astéries, à l'extrémité de leurs rayons, qu'elles relèvent en nageant; il regarde comme très-probable que les organes pigmentaires placés au bord du disque des Méduses ont la même signification (2). J'ai snivi les nerfs optiques dans ces points oculaires, chez les Annélides (3), et Ehrenberg a montré que les nerfs des rayons des Étoiles de mer s'étendent jusqu'aux yeux ponctiformes à l'extrémité des rayons.

Gruithuisen admet (4) que tont point de la peau qui a une teinte plus foncée participe jusqu'à un certain point de la nature d'un organe visuel, parce qu'il absorbe davantage de lumière. C'est une opinion évidemment inexacte; car la première de toutes les conditions pour voir est que le nerf possède une sensibilité spécifique, et que celui qui sert à la vision ne soit point un nerf tactile.

D'aillenrs, la structure des yeux chez les Vers prouve qu'il faut un nerf et un organe particuliers, même pour distinguer

(1) *Mém. pour servir à l'Hist. anat. et physiol. des végétaux et des animaux*, Paris, 1837, t. II, p. 385.

(2) MECKEL'S *Archiv.*, 1834. — MANDL et EHRENBERG, *Traité du microscope et sur l'organisation des Infusoires*, Paris, 1839, in-8, fig.

(3) *Annales des sciences naturelles*, t. XXII, p. 19.

(4) *Isis*, 1820, p. 251.

simplement le jour de la nuit. Car, d'après mes recherches sur la structure de ces organes dans les animaux de la classe des Annélides, il est bien constant qu'ils ne renferment aucun appareil optique pour la séparation de la lumière, et qu'en conséquence ils ne sauraient rien distinguer de précis. Au dedans de la choroïde en forme de godet de l'espèce de *Nereis* que j'ai examinée, il n'y a ni cristallin, ni aucune trace des organes isolateurs dont les Insectes sont pourvus. Le corps embrassé par cette membrane n'est que le bulbe du nerf optique. Ainsi, même lorsqu'il ne s'agit que de distinguer le jour de la nuit, la nature a créé des organes pour cela ; telle paraît être la destination des points oculaires des Planaires, des Astéries, des Rotifères et des Infusoires.

Une seconde remarque critique, que je dois faire ici, concerne l'opinion, également fondée sur l'ignorance des conditions physiques de la vision, que la faculté de voir à l'aide de la peau serait possible, même chez l'homme, par une exaltation ou par un changement, un déplacement, de la sensation. On sait qu'il ne nous est pas donné de connaître les couleurs avec les doigts, quoique nous puissions parvenir à distinguer, au moyen du toucher, le corps ou le grain de quelques matières colorantes étalées en couches épaisses, parce qu'elles offrent des inégalités et qu'elles contractent de l'adhérence avec les parties qui y touchent. La nécessité d'appareils optiques, soit en mosaïque, soit collecteurs, pour la formation d'une image sur une membrane sensible, réfute suffisamment la prétendue vision par le creux de l'estomac ou par le bout des doigts dans l'état qu'on appelle magnétisme animal. Quand bien même la peau de la région épigastrique et des doigts aurait la faculté de sentir la lumière, ce qu'elle n'a pas, il n'y aurait cependant point encore pour elle possibilité de voir, puisqu'il n'existerait aucun appareil capable de reporter la lumière venant des différens points *a*, *b*, *c*, *d*, ... *n* d'un objet aux points *a*, *b*, *c*, *d*, ... *n* de la surface sentante. Or,

sans de tels appareils, le creux de l'estomac et les doigts, fussent-ils même aptes à sentir la lumière, ne pourraient que distinguer le jour de la nuit. Mais comme ces parties n'ont point la capacité de sentir la lumière, et comme il n'y a pas de sensation qui puisse se déplacer, un individu plongé dans ce qu'on appelle l'état magnétique ne saurait, dans aucun cas, distinguer, même vaguement, le jour de la nuit, à l'aide de ses doigts ou de sa région épigastrique, et s'il y parvient, ce n'est qu'au moyen de ses yeux, auxquels il est si difficile, même en les bandant, d'enlever la faculté de voir le jour, qui peuvent même très-bien apercevoir les objets au dessous du bandeau, comme ont dû s'en convaincre tous ceux qui se sont amusés au jeu de colin-maillard. Qu'on se couche horizontalement, comme le sont les individus plongés dans le prétendu sommeil magnétique, et un bandeau placé sur les yeux n'empêchera pas qu'on voye par dessous l'étendue tout entière d'une chambre. Quel est le médecin instruit qui pourrait ajouter foi à de pareils contes? Du point de vue scientifique, on conçoit qu'une personne qui dort ait des visions semblables à celles qu'on éprouve quelquefois, les yeux fermés, avant de s'endormir; car les nerfs optiques peuvent être sollicités à sentir par une cause interne, tout aussi bien que par des causes extérieures. Tant que les magnétisés n'accusent rien autre chose que les symptômes nerveux ordinaires qui s'observent dans d'autres maladies nerveuses, tout est croyable; mais dès qu'ils se donnent pour voir avec les yeux bandés, ou avec les doigts, ou avec l'estomac, pour distinguer ce qui se passe dans la maison voisine, ou pour faire des prophéties, de pareilles jongleries ne méritent aucun égard, et, au lieu d'admirer niaisement, il faut crier tout haut au mensonge, à la déception.

II. Conditions physiques de la production des images par des milieux réfringens.

L'importance de la théorie de la réfraction de la lumière

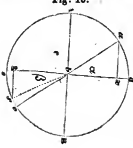
pour celle de la vision chez l'homme et les animaux, dont les organes visuels sont fondés sur l'emploi que la nature y a fait des moyens réfringens, m'impose l'obligation de rappeler ici les principaux points de cette doctrine, pour l'exposition complète de laquelle je renvoie d'ailleurs aux écrits de Porterfield, de Priestley, de Fischer, de Biot, de Kunzek et de Brandes.

Lorsque des rayons lumineux passent d'un espace vide dans un corps transparent, ou d'un milieu moins dense dans un autre qui l'est davantage, s'ils tombent perpendiculairement sur la surface du second milieu, ils continuent de cheminer en ligne droite; mais si leur incidence est oblique, ils changent de direction, et, tout en continuant de suivre le prolongement du plan d'incidence, ils se rapprochent de la perpendiculaire. Ainsi AB étant le plan d'incidence du milieu plus dense, *c*, le rayon *ab* au lieu de suivre la direction *bc*, se rapprochera de la perpendiculaire *be*, et marchera dans la nouvelle direction *bf*.

Fig. 9.

Si, au contraire, le rayon passe obliquement d'un corps transparent dans un espace vide, ou d'un milieu plus dense dans un autre qui le soit moins, il s'écarte de la perpendiculaire, et au lieu de la direction *b c*, suit celle *b g*.

Fig. 10.

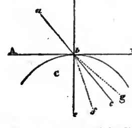


Le rayon incident, le rayon réfracté et le fil à plomb se trouvent d'ailleurs dans le même plan. Si nous appelons *angle d'incidence* l'angle compris entre le rayon incident *ab* et la perpendiculaire *db*, et *angle de réfraction* celui qui est compris entre le rayon réfracté *bf* et la perpen-

diculaire $b\,e$, ax est le sinus du premier, et fg' celui du second. L'expérience a appris que quand les deux milieux restent les mêmes, le sinus de l'angle d'incidence a est au sinus de l'angle de réfraction β, dans un rapport constant, quelque grande ou petite que soit l'inclinaison du rayon incident à l'égard du milieu réfringent. Le rapport de réfraction des deux milieux est donc exprimé par $\frac{sin.\,a.}{sin\ \beta.}$ Ce ne sont pas les angles, mais seulement les sinus des angles qui ont entre eux ce rapport constant sous toutes les incidences possibles pour les mêmes milieux : cependant, tant que les angles sont petits, comme le sont ceux des rayons centraux des lentilles, on ne commet pas une erreur notable en regardant aussi le rapport des angles comme constant. Le rapport de réfraction de l'air et de l'eau est 4/3; celui de l'air et du verre commun 3/2. Du reste, le pouvoir réfringent des corps ne dépend pas seulement de leur densité, mais encore de leur combustibilité.

La surface de milieu réfringent pouvant, lorsqu'elle est courbe, être regardée comme composée d'une infinité de surfaces planes, quand le rayon lumineux ab tombe sur le milieu C, dont la surface est courbe, la tangente AB peut être considérée comme plan d'incidence, et le fil à plomb, dont le rayon lumineux se rapproche en traversant le milieu réfringent, est ici la perpendiculaire de, qui rencontre la tangente au point de contact de la courbe. Ainsi le rayon $a\,b$ se rapprocherait de la perpendiculaire de, et suivrait la direction $b\,f$, en traversant un milieu plus dense, tandis qu'en passant à travers un milieu moins dense, il s'écarterait de la perpendiculaire $d\,e$, et prendrait la direction $b\ g$.

Fig. 11.

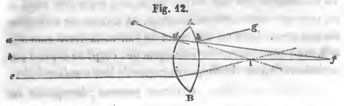


Il importe, pour la théorie de la vision, de connaître les

lois de la réfraction de la lumière dans les lentilles sphériques; car ces corps sont susceptibles, en certaines circonstances, de réunir de nouveau en un point les rayons lumineux qui émanent, en s'écartant, d'un autre point, et de projeter par-là une image de ce dernier.

Lorsque des rayons lumineux parallèles, ou provenant d'un point lumineux placé à une distance infinie, tombent sur une surface réfringente plane, s'ils frappent obliquement cette dernière, ils éprouvent bien une réfraction, mais leur parallélisme ne change point. Quand, au contraire, c'est sur une lentille à surface sphérique qu'ils tombent, ils sont rassemblés, c'est-à-dire amenés à une direction convergente.

Fig. 12.

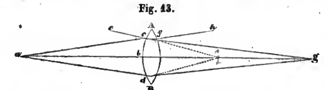


a, *b*, *c* sont des rayons lumineux parallèles; *b* correspondant à l'axe de la lentille AB, il la traversera sans être réfracté; mais les deux antres, dont l'incidence et l'émergence sont obliques, éprouvent une réfraction; le rayon *a* se rapproche de la perpendiculaire *e d*, et suit la direction *d f* en traversant la lentille; mais comme, à sa sortie, il passe dans un milieu moins dense, il subit une nouvelle réfraction, s'écarte de la perpendiculaire *hg*, se rapproche davantage encore, par conséquent, du rayon *b f* parallèle à l'axe, et prend la direction *h i*. Si les rayons *a* et *c* sont à une égale distance du rayon *b*, la réfraction de *c* sera la même absolument que celle de *a*, c'est-à-dire qu'après leur sortie de la lentille les deux rayons couperont le rayon *b* en un point quelconque *i*, que les trois rayons seront réunis sur ce point, et qu'au-delà ils s'écarteront de nouveau les uns des autres. Or, comme ce qui est vrai de *a* et de *c* doit l'être également de tous les

rayons parallèles, séparés du rayon parallèle à l'axe par une même distance, qui tombent avec lui sur la lentille, tous ces rayons se couperont au point commun *i*, qu'on nomme le *foyer* de la lentille. La distance du foyer des rayons parallèles à la lentille dépend du pouvoir réfringent de la substance dont celle-ci est formée, et de la convexité de ses deux faces; il doit être d'autant plus rapproché que, toutes choses égales d'ailleurs, les deux faces sont plus convexes.

Si les rayons viennent du foyer de la lentille, ils éprouvent, en traversant celle-ci, une réfraction telle qu'après leur émergence ils prennent une direction parallèle les uns aux autres. De ce théorème et du précédent, il suit déjà que quand les rayons lumineux proviennent d'un point qui est plus éloigné de la lentille que le foyer, mais sans se trouver toutefois à une distance infinie, ils ne peuvent arriver à se réunir ni au foyer de la lentille, ni à une distance infinie. Leur point de réunion est alors placé entre le foyer et l'éloignement infini; plus le point lumineux est voisin du foyer, plus le point de réunion des rayons est éloigné au-delà de la lentille, et plus ils se rapprochent du parallélisme; plus, au contraire, le point lumineux est distant du foyer, plus la distance du point de réunion des rayons diminue, jusqu'à ce qu'enfin, quand la distance du point lumineux est devenue infinie et les rayons parallèles, la réunion de ceux-ci tombe au foyer de la lentille.

Fig. 13.



Soit *a* le point radieux placé à une distance de la lentille AB plus grande que son foyer, le rayon parallèle à l'axe *a b* traversera sans subir de réfraction : *a c* sera brisé deux fois, à

la face antérieure et à la face postérieure de la lentille ; à la face antérieure, il se rapprochera de la perpendicnlaire *ec*, et marchera dans la direction *c g ;* en *f*, il sera réfracté une seconde fois, et à son passage dans le milien plus rare, il s'éloignera de la perpendiculaire *fh*, c'est-à-dire prendra la direction *fi*. Si *b c*=*b d*, la réfraction du rayon *a d* sera la même que celle de *ac*, et les deux rayons couperont au même point *i* celui qui est parallèle à l'axe. La même chose aura lien pour tous les rayons du point *a* qui sont, comme *a c* et *a d*, à égale distance de l'axe : *acd* peut donc être considéré comme la périphérie d'une sphère, périphérie formée par des rayons lumineux qui se réunissent tous en *i*. La distance du point *i* à la lentille se nomme la distance de l'image, qu'il faut bien distinguer de la distance focale principale. Cette dernière est celle à laquelle se réunissent les rayons parallèles. Le foyer des rayons divergens est toujours derrière le foyer principal, et il s'éloigne d'autant plus de ce dernier, que le point radieux se trouve plus rapproché de la lentille.

La distance de l'image dépend : 1° du rapport de réfraction entre la lentille et le milien placé au devant d'elle ; 2° de la convexité des deux sufaces de la lentille, qui est exprimée par la grandeur des demi-diamètres des sphères auxquelles appartiennent les convexités ; 3° de la distance de l'objet. Ces trois points étant connns, on peut, à l'aide du calcul, trouver la distance de l'image pour toute distance quelconque de l'objet. Je dois renvoyer aux traités de physique pour la manière d'établir une équation entre les demi-diamètres de la lentille, son rapport de réfraction, la distance de l'objet et le foyer de l'image. L'équation est celle-ci :

$$\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

$\frac{n}{1}$ est le rapport de réfraction, ou le rapport entre l'angle d'incidence et celui de réfraction ; f et g sont les demi-diamètres

des convexités des lentilles ; a est la distance du point radieux à la lentille, et α la distance cherchée du foyer de l'image. Supposons que le rapport de réfraction pour l'air et le verre soit 3/2, les demi-diamètres de la lentille 10 et 12 lignes, et la distance du point radieux 100 lignes, on aura

$$\frac{\frac{3-1}{2}}{10}+\frac{\frac{3-1}{2}}{12}=\frac{1}{100}+\frac{1}{X} \text{ ou } \frac{3}{2}-1\left(\frac{10}{1}+\frac{1}{12}\right)=\frac{1}{100}+\frac{1}{X}$$

De la formule $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$ se déduit aussi la distance du foyer des rayons parallèles. Comme, pour les rayons parallèles, la distance du point radieux est infinie, il résulte de là que $\frac{1}{a}=o$: donc si a est une grandeur infinie, $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{\alpha}$, ou si l'on appelle α la distance focale des rayons divergens, le foyer principal d'une lentille est déterminé dans la formule $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{p}$.

En combinant la formule pour la distance de l'image $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$ et la formule pour la distance focale principale $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{p}$, on obtient une formule plus simple encore pour les déterminations optiques. Car comme le premier terme des deux équations est le même, il s'ensuit que $\frac{1}{p}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$. Ici p est la distance focale principale de la lentille, a la distance du point radieux, α la distance focale de l'image, et l'on peut d'après la distance focale principale de la lentille et la distance du point radieux trouver sans peine

la distance focale de l'image pour chaque distance du point radieux. De la dernière équation il suit que $a = \frac{ap}{a-p}$.

On trouve donc la distance focale de l'image d'un point radieux en divisant le produit de la distance de l'objet à la lentille et du foyer principal de cette dernière par la différence de l'une à l'autre.

Si la paroi qui reçoit l'image ne se trouve pas à la distance focale, au lieu de la représentation du point radieux, on a celle d'un cercle de dispersion, ou d'un segment de cône lumineux, et le résultat sera le même, que la paroi destinée à recevoir l'image soit située en avant ou en arrière du foyer. Dans le premier cas, les rayons du cône lumineux ne se sont point encore réunis, et dans le second les rayons, après s'être réunis, se sont écartés de nouveau en forme de cône.

Jusqu'ici la réfraction des lentilles n'a été examinée que dans le cas où l'objet est un point radieux. Mais si cet objet a de l'étendue, et si ses points radieux sont situés sur un plan perpendiculaire au prolongement de l'axe de la lentille, leur image se trouve également projetée sur un plan, mais en sens inverse. Soit $\alpha\beta$ l'objet, le cône lumineux parti de α est amené en a par la réfraction, celui qui part de β l'est également en b, et tous les autres le sont dans le même ordre. L'image représente l'objet renversé; le haut se trouve en bas, le bas en haut, la droite à gauche, la gauche à droite, mais la situation relative des diverses parties demeure absolument la même. Le rayon médian du cône lumineux $a\alpha$ et $b\beta$ s'appelle le rayon principal, parce qu'il ne change pas, ou presque pas ; comme le rayon d'un point lumineux qui est parallèle à l'axe de la lentille. Les autres rayons du cône convergent vers lui après la réfraction,

Fig. 44.

et l'image du point se projète donc toujours dans la direction du rayon principal, de sorte que ce rayon détermine la situation du point dans l'image, et que les rayons principaux des cônes lumineux de chaque point déterminent la grandeur de l'image.

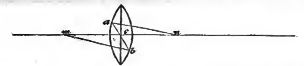
On trouve par le calcul les endroits où se réunissent les rayons des points écartés de l'axe, et de leur détermination il résulte que quand le point situé hors de l'axe en est voisin, de manière que les rayons tombant sur la lentille ne fassent que de petits angles avec l'axe, les divers points de l'image sont placés dans un plan droit parallèle à l'objet.

Grégory prétendait avoir remarqué qu'avec une lentille sphérique, l'image d'une figure située perpendiculairement sur l'axe n'est point plane, mais qu'elle décrit une courbe dont la concavité regarde le verre, et qu'il faut, pour avoir une image plane, que les surfaces du verre aient la forme d'un segment de cône. Priestley accorde le fait, mais répond que l'erreur qui en résulte est insignifiante, parce que les surfaces des lentilles ne sont que de très-petits segmens de sphères. Kaestner ajoute cependant encore qu'en n'ayant point égard à l'aberration de sphéricité, c'est-à-dire, supposant les angles proportionnels à leur sinus, le calcul le plus rigoureux, exécuté d'après cette supposition, ne fait découvrir aucune courbure dans l'image d'un figure plane. C'est, du reste, un fait expérimental que le parallélisme du plan de l'image et du plan de l'objet, quand celui-ci a une direction perpendiculaire à l'axe de la lentille. Il n'est pas non plus difficile d'en donner la preuve mathématique pour une image de peu d'étendue ; on la trouve dans les traités détaillés de physique.

Les deux surfaces d'une lentille étant parallèles, ou à peu de chose près, au voisinage de l'axe, les rayons qui traversent obliquement cet axe, ne s'écartent point, à leur sortie, de la direction qu'ils avaient à leur entrée, quand leur immergence et leur émergence ont lieu dans la partie parallèle

des deux surfaces de la lentille. Leur réfraction se comporte de même que quand des rayons traversent obliquement une plaque de verre à faces parfaitement parallèles. Le rayon s'écarte autant de la perpendiculaire, à sa sortie, qu'il s'en était rapproché à son entrée, de sorte qu'il ne change pas de direction. Aussi le rayon médian d'un cône lumineux médiocrement oblique qui traverse le milieu de l'axe de la lentille doit-il être considéré comme ne changeant pas de direction et déterminant celle de l'image que projette un point situé hors de l'axe de la lentille. Du reste, le point par lequel les rayons doivent passer pour ne pas éprouver de réfraction, n'est pas exactement le centre de l'axe de la lentille, à cause de la convexité différente des surfaces; il s'en écarte soit en avant, soit en arrière; le cas dans lequel les deux faces ont des demi-diamètres égaux est le seul où ce point coïncide avec le centre de l'axe. On appelle ce point centre optique de la lentille. Soit *n* le centre de la surface antérieure de la lentille, c'est-à-

Fig. 15.

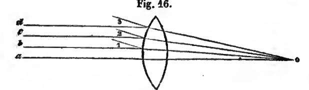


dire de la sphère à laquelle celle-ci appartient, *m* celui de la surface postérieure, et *a* un point arbitrairement choisi de la surface antérieure : *an* est le rayon de cette surface; supposons que la ligne *mb* tirée du centre de l'autre surface *m* soit parallèle à *an*; la ligne *ab* coupe l'axe de la lentille en *c*, et *c* est le centre optique de la lentille. Car, *an* et *mb* étant parallèles, les angles *nab* et *mba* sons égaux. Si *ab* est un rayon de lumière, l'angle qu'il forme avec la perpendiculaire *an* est égal à l'angle qu'il forme avec la perpendiculaire *mb*. L'angle d'incidence de l'air dans le verre se comporte à l'égard de l'angle de réfraction *nab*, tout comme l'angle de réfraction du verre dans l'air à l'égard de l'angle d'incidence *mba*; par

conséquent, le rayon demeure parallèle à son immergence et à son émergence, et il doit être considéré comme n'ayant point été réfracté. Si la lentille est biconvexe, mais à convexités inégales, le centre optique est plus rapproché de la surface la plus convexe.

Nous n'avons eu égard jusqu'à présent qu'à la réfraction des rayons qui traversent le milieu de la lentille; il faut examiner maintenant la manière dont se comportent ceux qui traversent le bord, et quel est leur rapport avec le foyer. Quelle que puisse être la forme d'une lentille, sphérique, plan-convexe, ou biconvexe, dans tous les cas les rayons parallèles qui pénètrent en elle à une égale distance de son axe se réunissent au même point; car leurs angles d'incidence et de réfraction sont égaux. De même, quand l'axe d'un cône lumineux passe par l'axe d'une lentille, ceux de ses rayons rencontrant celle-ci en cercle qui la traversent à une égale distance de son axe, se réunissent toujours en un point. Mais comment se comportent les autres rayons du cône? Sont-ils admis aussi dans le même point de réunion, ou y en a-t-il un autre pour eux? Pour que les rayons parallèles *a*, *b*, *c*, *d*, se réunissent

Fig. 16.



au foyer *o*, il faut que leurs réfractions croissent en proportion de leur distance à l'axe de la lentille. En effet, les angles d'incidence 1, 2, 3 croissent proportionnellement à la distance qui sépare les rayons *b*, *c*, *d* de l'axe *a*. Il est donc nécessaire, pour que des rayons parallèles se réunissent en un foyer, que le corps réfringent présente des surfaces courbes.

Il reste à savoir suivant quelle proportion les angles de réfraction des rayons parallèles doivent croître depuis l'axe

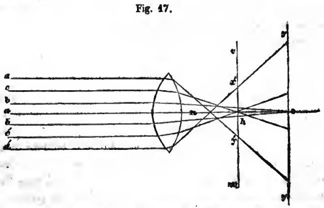
jusqu'au bord de la lentille pour pouvoir se réunir en un seul point, ou, en d'autres termes, de quelle espèce doivent être les courbes des surfaces de la lentille pour que ce but soit atteint. L'expérience et le calcul font voir que les surfaces sphériques des lentilles ne remplissent point complétement l'objet, et que les courbes nécessaires pour opérer une réunion parfaite des rayons lumineux en un point s'écartent de la forme sphérique. Mais on ne peut point obtenir, par l'usure, des lentilles sans surfaces sphériques. Lorsque les surfaces de ces instrumens ont une forme sphérique, la réfraction des rayons marginaux croît avec plus de rapidité qu'il ne le faudrait pour que la réunion de tous les rayons centraux et marginaux pût s'effectuer sur un seul point. C'est ce qu'on appelle l'aberration de sphéricité. Les points de réunion sont différens pour tous les cercles de rayons, depuis le centre jusqu'au bord, et ces points se reportent d'autant plus en avant, vers la lentille, que les cercles deviennent plus larges, ou qu'il passe plus de rayons marginaux.

Je ne connais aucune preuve mathématique de ce phénomène qui soit facile à comprendre; c'est pourquoi je me suis borné à l'exposer empiriquement, comme on a coutume de le faire dans les manuels de physique. Kunzek a bien essayé de faire concevoir l'aberration de sphéricité par une déduction géométrique; mais ce moyen manque évidemment le but. Il montre quel changement les rayons lumineux subissent à travers le prisme, quand on agrandit l'angle réfringent de ce dernier; puis il ajoute qu'une lentille sphérique doit être considérée comme un prisme dont l'angle réfringent, nul à l'axe, s'accroît symétriquement de chaque côté de l'axe jusqu'au bord de la lentille. Or comme le rayon lumineux qui traverse un prisme se trouve dévié d'autant plus de sa direction primitive que l'angle réfringent du prisme grandit, et comme la lentille est un prisme dont l'angle réfringent va en augmentant depuis l'axe jusqu'aux bords, il s'ensuit que les rayons

qui rencontrent la lentille à une plus grande distance de l'axé doivent être plus détournés de leur direction, et qu'en conséquence ils coupent l'axe plus tôt que ne le font les rayons centraux. La conclusion ne ressort nullement de toute cette déduction; car, dans le cas aussi de réunion complète, tant des rayons centraux que des rayons marginaux, en un seul point, les angles d'écartement des rayons de leur direction doivent également croître jusqu'au bord; en effet, s'ils ne croissaient pas, les rayons incidens parallèles éprouveraient bien une réfraction, mais ils continueraient de marcher parallèlement sans changer de direction, c'est-à-dire que la lentille serait alors un prisme, dont les angles de réfraction ne croissent pas vers le bord, mais demeurent les mêmes; elle ne serait point une lentille, mais un simple prisme. C'est de ce mode seul d'accroissement, ou de la forme de la courbe, qu'il dépend que les rayons marginaux et les rayons centraux se réunissent ou non en un point.

Il suffit, pour notre but, d'en rester au fait empirique que les rayons marginaux d'une lentille à surfaces sphériques se réunissent plus près que les rayons centraux. Dans la figure suivante,

Fig. 17.



les rayons *d*, *c*, *b*, *a*, *b'*, *c'*, *d'* sont parallèles. Comme les rayons

b et *b'* sont placés à une égale distance de l'axe *a*, et que la réfraction est très-faible au voisinage de l'axe, ce sont eux qui coupent l'axe à la plus grande distance de la lentille, au point *o*. Les rayons *c* et *c'*, qui sont plus éloignés de l'axe, se réuniront et se croiseront en *h*. Enfin les rayons *d* et *d'*, qui sont les plus distans de cet axe, se réuniront et se croiseront en *n*. S'il se trouve en *o* une surface qui reçoive la lumière, il s'y formera non seulement le foyer des rayons centraux, mais encore un cercle diffus de tous les autres rayons qui ont leur foyer non en *o*, mais en *h*, en *n*, et autres points de l'axe *a o*; *yy* sera le diamètre de ce cercle de diffusion. Si la paroi est placée en *h*, on y verra paraître le foyer des rayons *c c'*, avec le foyer de diffusion *x' y'* etc.

Si les rayons *d*, *c*, *b*, *a*, *b'*, *c'*, *d'*, au lieu d'être parallèles, constituent la base d'un cône lumineux éloigné à l'infini, il n'y a pas non plus de réunion en un seul point, et l'on apercevra sur la paroi, outre un point de réunion déterminé de certains rayons, les cercles de diffusion des autres rayons. Si les rayons peuvent tomber à la fois sur la partie centrale et sur la partie marginale de la lentille, les cercles de diffusion seront naturellement plus grands qu'en toute autre circonstance, que la paroi se trouve en *vw* ou en *yy*; car alors, outre le point de réunion de certains rayons, il apparaîtra les diffusions de tous les autres. Mais si les rayons marginaux peuvent être éliminés, et qu'ils ne passe que les centraux, alors, quand la paroi se trouve au point de réunion de ces derniers en *o*, le cercle de diffusion de tous les autres rayons disparaît en entier, et l'image est nette. On obtient ce résultat en couvrant d'un diaphragme la partie marginale de la lentille. L'image deviendra également nette si la lumière passe par le bord seulement de la lentille, et que le centre soit couvert, car alors on n'aura plus le cercle de diffusion des rayons centraux. Ce dernier mode d'occlusion n'est point employé dans les instrumens d'optique, parce que l'aberration

au bord nuit davantage ; mais tous ces instrumens doivent être pourvus de diaphragmes pour donner des images nettes.

Lorsque l'ouverture du diaphragme est très-petite, il peut naître de l'inflexion de la lumière au bord de celui-ci, des phénomènes nouveaux et particuliers, qui changent notablement la forme et la clarté de l'image.

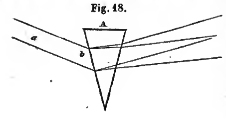
L'aberration de sphéricité peut être diminuée, et réduite au minimum, par un changement du rapport entre les courbures des deux surfaces. Elle devient aussi petite que possible, d'après Herschel, quand le rayon de la surface postérieure de la lentille est six à sept fois plus grand que celui de la surface antérieure. En mettant deux lentilles minces en contact l'une avec l'autre, on détermine les rapports des rayons sous l'influence desquels l'aberration de sphéricité disparaît entièrement. L'accroissement de la densité d'une lentille de la circonférence au centre doit aussi diminuer l'aberration ; car alors le foyer des rayons centraux se trouve raccourci et rapproché de celui des rayons marginaux, qui a moins de longueur. Les lentilles dont on a évité l'aberration sont appelées aplanatiques.

III. Conditions physiques des couleurs.

A. *Couleurs dioptriques. Théorie newtonienne des couleurs.*

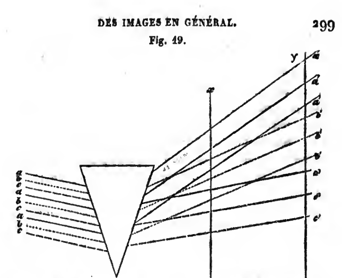
Quand la lumière subit la réfraction, non seulement elle est détournée de sa direction, mais encore elle paraît, sous certaines conditions, colorée. C'est à l'aide du prisme qu'on aperçoit le mieux le phénomène des couleurs. Soit *a b* un faisceau de rayons solaires parallèles, qui tombent obliquement sur le prisme ; ils sont réfractés deux fois par la surface antérieure et

Fig. 18.



par la surface postérieure de celui-ci; mais, au lieu que les rayons continuent de marcher parallèlement dans la nouvelle direction, le faisceau de lumière s'étale, et s'il est reçu par une surface, il montre les couleurs de l'arc-en-ciel. Il n'est pas nécessaire, pour observer ces couleurs, de faire tomber la lumière, par le trou d'un volet, dans une chambre obscure ; on les voit en plein jour lorsqu'on projette la lumière solaire sur un mur, après qu'elle a traversé le prisme; mais le phénomène est beaucoup plus apparent dans une chambre obscure, et les limites du spectre y sont plus nettes. Au lieu d'une image ronde, le faisceau réfracté par le prisme jette une figure oblongue, à bords latéraux droits, arrondie par le haut et par le bas, dans laquelle les couleurs se succèdent ainsi : violet, bleu, vert, jaune, orangé, rouge. D'après les lois de la réfraction seule, les rayons lumineux parallèles recevraient bien du prisme une autre direction, mais ne perdraient pas leur parallélisme. Or comme l'image s'est élargie, il est évident que les rayons, qui ont cessé d'être parallèles, n'ont pas subi la même réfraction. Ce fait conduisit Newton à sa théorie des couleurs. De l'action du prisme il conclut que le faisceau de rayons solaires sur lequel on opère doit renfermer des élémens ou des rayons qui diffèrent de réfrangibilité, et parmi lesquels ceux qui sont réfrangibles au même degré sont les seuls qui continuent de marcher dans une même direction. Si, par exemple, dans le faisceau des rayons parallèles, *a*, *a*, *a* sont également réfrangibles, que *b*, *b*, *b*, doués entre eux de la même réfrangibilité, en aient une différente de celle d'*a*, que *c*, *c*, *c*, également réfrangibles entre eux, le soient autrement que *a* et *b*, il n'y aura plus de parallèles entre eux, après la réfraction, que *a'*, *a'*, *a'*, *b'*, *b'*, *b'* et *c'*, *c'*, *c'*, qui ont la même réfrangibilité, mais aucun de ces trois faisceaux ne conservera son parallélisme avec les deux autres, qui ne sont pas réfrangibles au même degré que lui.

Fig. 19.



Les rayons homogènes *a' a' a'* paraissent sous la même couleur, le violet ; les rayons homogènes *b' b' b'* sous la même couleur, le bleu ; les rayons homogènes *c' c' c'* sous la même couleur, le vert, et ainsi des autres pour le jaune, l'orangé et le rouge. Le violet et le rouge sont placés aux limites extrêmes et opposées du spectre, parce que le premier est le plus réfrangible de tous, et que le dernier l'est le moins. Mais on n'apercevra les couleurs qu'autant qu'on les recevra à une distance convenable du prisme, par exemple à la distance *y*, où les rayons *a' b' c'*, qui s'éloignent les uns des autres, ne se couvrent plus. Si l'on reçoit l'image plus près du prisme, par exemple en *x*, les rayons hétérogènes *a' b' c'* se couvrent dans son milieu, de sorte qu'alors la partie moyenne de cette image est blanche, et qu'il n'y a que son extrémité supérieure et son extrémité inférieure qui soient colorées ; plus on reçoit le spectre près du prisme, moins les rayons hétérogènes se sont séparés, plus la partie moyenne blanche est grande, et plus la bordure colorée est petite.

Ceci mène à la conclusion qu'on voit le blanc lorsque les mêmes points d'un corps reçoivent à la fois et renvoient à

l'œil des rayons hétérogènes de toutes les espèces, et que la couleur apparaît quand la lumière homogène d'une espèce fait impression sur l'organe visuel, en d'autres termes que la lumière blanche est un composé des différentes couleurs, que celles-ci, prises ensemble, donnent du blanc, mais que les milieux réfringens les séparent les unes des autres, à cause de leur réfrangibilité différente.

Cette conclusion trouve sa confirmation dans le fait que les rayons colorés peuvent être de nouveau réunis en lumière blanche.

1° Lorsqu'on reçoit, à l'aide d'une lentille, la lumière colorée qui se projette derrière le prisme, les rayons colorés se réunissent en une autre image blanche sur un point déterminé, en arrière duquel ils continuent de marcher séparés les uns des autres.

2° On arrive au même résultat en faisant traverser à la lumière solaire deux prismes qui aient le même angle réfringent et une situation inverse. Par la réfraction en sens opposé qu'il détermine, le second prisme détruit l'effet du premier, et l'image ne peut apparaître que blanche.

3° On y parvient également à l'aide d'un miroir concave, sur lequel on fait tomber obliquement les rayons colorés produits par le prisme. Ainsi réfléchis en bas, ils ne produisent qu'une image blanche.

Les couleurs dioptriques se présentent aussi, quoique moins prononcées, lorsqu'au lieu de prisme on emploie des lentilles; elles forment alors des bandes colorées autour des objets. Une lentille peut être considérée comme un prisme, dont l'angle réfringent croît vers le bord de l'instrument, et dans lequel la décomposition de la lumière s'opère, non pas de haut en bas, comme dans le prisme, mais suivant toutes les directions, du centre à la périphérie. Les bandes colorées sont d'autant plus fortes que l'image est plus éloignée du point de réunion des rayons.

L'emploi du mot rayon dans l'exposition de la théorie newtonienne des couleurs, a fait naître, dans l'esprit de quelques personnes, la fausse idée qu'en conséquence de cette théorie, chaque rayon de lumière blanche serait composé de plusieurs rayons de lumière colorée, qui en formeraient pour ainsi dire les élémens. Mais, pour bien saisir les résultats qui découlent des découvertes de Newton, il faut se reporter à l'organe de la vision, qui joue un rôle actif dans le phénomène des couleurs et de la lumière. On sait que la membrane nerveuse de l'œil ressemble à une mosaïque constituée par les extrémités d'innombrables fibres nerveuses. Chaque papille de cette mosaïque représente la plus petite parcelle élémentaire de l'organe visuel qui soit susceptible d'éprouver une sensation.

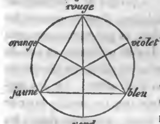
Tant que de la lumière diversement colorée tombe sur cette mosaïque de l'organe visuel, de telle manière que chacune des parties élémentaires de la rétine reçoive de la lumière homogène, savoir, *a* de la bleue, *b* de la jaune, *c* de la rouge, ces impressions colorées sont perçues comme existant les unes à côté des autres. Mais lorsque les mêmes particules de la rétine sont éclairées par toutes les principales couleurs à la fois, de sorte que la même papille nerveuse soit déterminée à voir rouge, jaune et bleu, on ne distingue plus ni l'une ni l'autre de ces couleurs, mais une impression mixte, qui produit le blanc. C'est là tout ce que l'on peut conclure des observations de Newton. Ainsi l'impression simultanée de toutes les couleurs sur la même particule de la rétine produit la sensation du blanc.

Newton admettait, sans motifs suffisans, sept couleurs dioptriques, qui résultent de la décomposition de la lumière blanche par la réfraction, et l'on s'en tint pendant trop longtemps à cette hypothèse arbitraire, qui aurait dû être rectifiée dès avant les travaux de T. Mayer et de Gœthe. Il n'y a que trois couleurs principales, le jaune, le bleu et le rouge,

par le mélange desquelles toutes les autres s'expliquent. Entre le jaune et le bleu se trouve le vert, qui résulte de leur mélange ; entre le bleu et le rouge, le violet ; entre le rouge et le jaune, l'orangé. Lorsqu'il tombe de la lumière rouge et de la lumière bleue sur la même particule de la rétine de l'œil, on ne voit ni l'une ni l'autre, mais du violet ; il en est de même des autres couleurs qui s'unissent pour produire des sensations mixtes. De là vient que l'association d'une couleur mixte et d'une pure correspond à celle des trois couleurs principales, parce que la couleur mixte contient toujours déjà les deux autres couleurs principales. Ainsi, par exemple, 2/3 d'orangé et 1/3 de bleu, sont autant que 1/3 de bleu, 1/3 de rouge et 1/3 de jaune, ces deux derniers constituant ensemble les 2/3 d'orangé. Donc, lorsqu'au moyen d'un appareil particulier, on opère la réunion sur un plan de l'orangé et du bleu prismatiques, l'impression est celle du blanc, comme la produiraient les trois couleurs principales unies ensemble ; la même chose a lieu pour le rouge et le vert, qui contient du bleu et du jaune, et pour le jaune et le violet, que constituent du rouge et du bleu. Une couleur prismatique mixte et une couleur prismatique pure, qui donnent ensemble du blanc, prennent l'épithète de *complémentaires*. Le vert et le rouge, le violet et le jaune, le bleu et l'orangé, sont complémentaires. Le noir n'est point une chose positive : ce n'est que l'expression du repos de certaines parties de la rétine, ou de toutes. Si les impressions de couleurs, sans mélange de blanc, sont très-faibles, elles sont nécessairement plus ou moins obscures en même temps. Quand l'impression de la lumière blanche est assez faible, l'organe visuel aperçoit du gris, ou, comme on dit, un mélange de blanc et de noir. Cependant le gris peut aussi provenir du mélange de couleurs pigmentaires : des pigmens rouge, jaune et bleu, mêlés ensemble, donnent du gris. On peut aussi produire du gris avec deux pigmens seulement, lorsque l'un d'eux est une couleur pure, et l'autre une couleur

mixte, c'est-à-dire due au mélange de deux autres, qui, avec la couleur pure, représentent les trois couleurs principales, rouge, jaune bleu. Ainsi le rouge et le vert, le jaune et le violet, l'orangé et le bleu, donnent du gris. On appelle également complémentaires les couleurs qui produisent du gris par leur association.

Fig. 20.



Dans la figure ci-contre, les trois principales couleurs, rouge, jaune, bleu, sont placées aux angles d'un triangle équilatéral unis par un cercle : les couleurs mixtes se trouvent entre les pures qui eur correspondent; les complémentaires, dont les pigmens produisent ensemble du gris et dont les spectres prismatiques donnent du blanc par leur réunion, sont opposées et situées aux deux extrémités des diamètres. La même figure explique également d'autres nuances qui, prises ensemble, donneraient du gris ou du blanc, suivant leur intensité. Ainsi qu'on suppose représentées dans le cercle toutes les nuances intermédiaires entre les six couleurs qui y sont marquées, les couleurs complémentaires seront toujours placées régulièrement en face les unes des autres, de manière, par exemple, que la teinte entre l'orangé et le rouge est complémentaire de celle entre le vert et le bleu. Lorsqu'après avoir partagé un disque circulaire en trois champs égaux dont chacun est peint d'une des couleurs principales, on le fait tourner sur lui-même avec assez de rapidité pour que les couleurs changent de place sur la rétine avant l'effacement de l'impression qu'elles y ont produite, au lieu des couleurs, c'est du gris qu'on aperçoit. Le même effet a lieu quand le disque est peint de deux couleurs complémentaires seulement, mais dans de certaines proportions (2/3 de la mixte et 1/3 de la pure). Mais si l'une des couleurs prédomine trop, elle influe sur le

gris, qui n'est plus pur. Deux couleurs pures, sans la couleur complémentaire, ne donnent jamais de gris quand on les mêle ensemble, mais seulement la nuance produite par leur mélange, par exemple, du vert pour le bleu et le jaune, du violet pour le rouge et le bleu, de l'orangé pour le rouge et le jaune.

On a regardé ces faits comme une preuve de l'inexactitude de la théorie newtonienne des couleurs, d'après laquelle les couleurs principales prises ensemble, et par conséquent aussi les complémentaires, devraient donner du blanc, et non du gris. Cependant il serait difficile que les choses se passassent autrement, la théorie de Newton étant exacte; car les pigmens sont trop troubles et absorbent trop de lumière pour ne pas donner du gris, au lieu de blanc, lorsqu'on vient à les mêler ensemble. Effectivement, d'après la théorie de Newton, un corps coloré a telle ou telle couleur parce qu'il absorbe une ou plusieurs des couleurs de la lumière solaire blanche, et n'en réfléchit qu'une déterminée. L'impression de plusieurs champs colorés peints sur un disque circulaire animé d'un mouvement rotatoire ne peut point être blanche, parce qu'un disque blanc réfléchit toute la lumière, tandis que les champs colorés n'en renvoient qu'une partie. Ainsi la réunion des impressions colorées sur les mêmes points de la rétine doit être un blanc affaibli, un gris plus ou moins clair ou plus ou moins foncé, suivant la quantité de clair ou de trouble qui se trouve dans les pigmens.

Mais si l'on réunit les couleurs claires du spectre prismatique, on obtient un blanc pur, qui résulte aussi de la rénnion de deux couleurs dioptriques complémentaires, comme l'a fait voir Grotthuss.

Il faut remarquer que les couleurs intermédiaires qu'on obtient par la réunion de deux couleurs prismatiques, peuvent être redécomposées par le prisme en leurs couleurs primitives, tandis que le prisme n'a pas le même pouvoir sur celles du

spectre prismatique. Cette différence semble prouver que la lumière solaire contient plus de trois couleurs primitives, et qu'il y a vraisemblablement en elle un nombre infini de rayons d'une réfrangibilité différente. Que les couleurs intermédiaires prismatiques et celles qui résultent de mélanges produisent la même impression, celle du vert, par exemple, tandis qu'elles se comportent si diversement sous le point de vue de l'aptitude à se décomposer, c'est ce qu'on explique, dans la théorie de l'ondulation, par la vitesse des ondes, les ondes qui ont la vitesse des rayons verts primitifs, faisant la même impression sur la rétine que des ondes simultanées, de vitesse différente, des rayons jaunes et bleus, qui frappent ensemble la même partie de la rétine. La vitesse des rayons verts est même intermédiaire entre celle des rayons bleus et celle des rayons jaunes. Mais la vitesse des rayons violets est plus considérable que celle des bleus et des rouges.

Au reste, la théorie newtonienne des couleurs demeure la même, quant aux points essentiels, soit qu'on adopte la doctrine de l'émanation, soit qu'on préfère celle de l'ondulation. Car les impressions qu'en vertu de la première les rayons de qualité diverse de la lumière colorée font sur l'œil, dépendent, dans la seconde, de la diversité des ondes et de la vitesse des lumières diversement colorées, et ces rayons éprouvent une réfraction inégale en traversant les milieux réfringens.

Les objections que Gœthe a élevées contre la théorie newtonienne des couleurs reposent en grande partie sur un malentendu. Gœthe et Seebeck considèrent les couleurs comme naissant du blanc et du noir, et leur attribuent à elles-mêmes une certaine obscurité, dont le degré établit la distinction qui règne entre elles, attendu qu'elles se suivent du blanc au noir, comme jaune, orangé, rouge, violet, bleu, tandis que le vert semble se trouver dans le milieu entre le jaune et le bleu. Cette remarque, quoiqu'elle n'exerce pas d'influence



essentielle sur la théorie de Newton, est juste, et les recherches de Herschel en ont donné la confirmation expérimentale. Herschel examina l'intensité de la lumière de rayons colorés qui lui servaient à éclairer des objets sous le microscope : le jaune et le vert jaune étaient ceux qui éclairaient le mieux ; venaient ensuite, dans un ordre décroissant, l'orangé, le rouge, le bleu et le violet (dont on aurait dû s'attendre à trouver la place entre le rouge et le bleu). La clarté des rayons verts était plus faible aussi que celle des rayons d'un vert jaune. Une autre preuve, plus sûre encore, de la différence de clarté entre les rayons colorés, nous est fournie par les phénomènes de l'éblouissement. Quand on a fixé le soleil, et qu'on ferme les yeux jusqu'à produire une obscurité complète, l'image laissée par le soleil paraît claire ou blanche sur un fond noir ; mais cette image passe par toute la série des couleurs jusqu'au noir, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'elle ne se détache plus du fond noir, et la série des couleurs qu'elle parcourt ainsi du blanc au noir, est précisément celle des plus claires aux plus obscures, jaune, orangé, rouge, violet, bleu. Si, au contraire, après avoir fixé le soleil, on regarde un mur blanc, l'image de l'astre paraît noir sur le fond blanc de la muraille, et elle passe des teintes obscures aux claires, jusqu'à ce qu'elle soit arrivée au blanc, et qu'on ne puisse plus la distinguer du mur.

Mais, quelque exacte que soit la remarque de Gœthe sur la différence de clarté des couleurs, il ne s'ensuit pas qu'on doive conclure de là, avec lui, que la couleur naît d'un mélange de clair et d'obscur. L'obscur, comme je l'ai déjà dit, n'a point d'existence positive : ce n'est que le repos de certains points de la rétine ou de la membrane entière. Une couleur peut, sans être le résultat d'un mélange de bleu et de noir, stimuler plus ou moins la rétine, par conséquent avoir plus ou moins d'intensité, et paraître plus ou moins obscure, que d'ailleurs cet effet tienne à la différence de vitesse des

ondes lumineuses, ou à leur différence de volume dans les diverses couleurs, ou à toute autre propriété quelconque de la lumière.

Les points principaux de la théorie des couleurs imaginée par Gœthe reposent sur l'idée fausse qu'il se faisait de l'obscur ou du noir, en le regardant comme quelque chose de positif. Le gris qui se produit, au lieu de blanc, lorsqu'on mêle ensemble des pigmens à couleurs complémentaires, donne un certain vernis de vraisemblance à l'opinion de Gœthe et de Seebeck; mais la formation de ce gris est facile à expliquer, et d'ailleurs on peut prouver strictement que le blanc et le noir seuls ne sauraient jamais donner naissance à une couleur. Il ne résulte de ce mélange que du gris; soit que les deux impressions, comme dans le disque tournant, se succèdent avec assez de rapidité pour que l'image persistante de l'une et l'image naissante de l'autre se couvrent, soit que les deux causes agissent à la fois sur les mêmes parties de la rétine, ce qui se réduit à dire que l'action de la cause du blanc se trouve tempérée, et que de là naît du gris.

Les phénomènes qu'on observe en regardant des objets incolores à travers des corps demi-transparens, sont ceux qui semblent parler le plus en faveur de la théorie de Gœthe. Cependant on peut les expliquer aussi d'après les faits connus, et à l'aide des principes de la théorie newtonienne elle-même.

Les milieux troubles, comme le dit Gœthe, font paraître la lumière blanche, jaune ou même d'un jaune tirant sur le rouge, en la modérant; tel est l'effet du verre blanc et d'un air chargé de vapeurs au moment du crépuscule. Ce phénomène est attribué avec raison à la propriété dont le verre blanc, qui a toujours une teinte bleuâtre, jouit de laisser passer davantage les rayons jaunes et rouges, que les rayons bleus de la lumière blanche. Plusieurs milieux troubles ne le présentent pas, suivant la remarque de Brandes; ainsi, par

exemple, un nuage humide fait paraître blanche la lumière tant réfléchie que transmise, parce qu'il en laisse passer ou réfléchit toutes les couleurs à la fois.

Les objections tirées des phénomènes prismatiques, que Gœthe élève contre la théorie newtonienne des couleurs, manquent de fondement. Gœthe assigne, comme condition, à l'image prismatique colorée, qu'elle soit bornée, et que du clair limite de l'obscur; la couleur n'apparaît qu'à cette limite, parce que du clair et de l'obscur à la fois sont nécessaires pour la produire, ce qui fait qu'un objet non limité, un mur blanc, vu à travers le prisme, paraît blanc, et non coloré. Cependant ce dernier effet est précisément une conséquence de la théorie de Newton; car tous les points de la muraille blanche renvoyant de la lumière blanche, c'est-à-dire des rayons bleus, rouges et jaunes à la fois, chaque partie de la rétine est aussi affectée par tous les rayons colorés à la fois, c'est-à-dire par du blanc. Il faut sans doute une limite de clair, et de moins clair ou d'obscur, pour que les couleurs dioptriques apparaissent; mais cette condition est nécessaire aussi dans le sens de la théorie de Newton; car les seuls rayons colorés susceptibles d'être vus comme tels, sont ceux qui ne se rencontrent pas avec d'autres couleurs dans l'image, et qui s'isolent à la limite de celle-ci, en vertu de leur réfrangibilité différente.

Enfin l'explication que Gœthe donne des couleurs prismatiques n'est pas satisfaisante. Suivant lui, la réfraction est cause que, sur la limite d'une image obscure et claire, le champ obscur se meut sur le champ clair, et celui-ci sur l'autre, et de là naissent, à la limite, les bandes colorées. Cependant la lumière peut bien, à la limite de l'obscur, se disperser sur les parties en repos de l'œil, mais l'obscur ne peut point se répandre sur le clair; car, du point de vue physiologique, auquel tout ici doit être finalement rapporté, l'obscur n'est que la partie de l'œil où nous sentons la rétine dans l'état de repos.

Le mérite de Gœthe, par rapport à la théorie des couleurs, ne tient point à la manière dont il a envisagé les causes des couleurs prismatiques. Ce n'est pas ici le lieu d'examiner les précieux résultats de ses recherches sur les couleurs physiologiques, sur les effets moraux des couleurs, et sur l'histoire de leur théorie.

B. *Couleurs naturelles des corps. Pigmens.*

La couleur naturelle des corps non lumineux par eux-mêmes dépend immédiatement de la lumière qui tombe sur eux, et qu'ils nous renvoient en la réfléchissant; mais elle tient aussi en partie à leur affinité pour elle; car tantôt ils la réfléchissent complétement, tantôt ils l'absorbent en entier, avec dégagement de chaleur, ou bien ils la réfléchissent et l'absorbent en partie, et tantôt ils la laissent passer tout entière, tantôt ils ne laissent passer que certains rayons et absorbent les autres. Un corps blanc est celui qui réfléchit toutes les espèces de lumière colorée à la fois; un corps noir, celui qui les absorbe tous et n'en réfléchit aucun; un corps coloré, celui qui absorbe ou laisse passer certains rayons colorés de la lumière blanche et réfléchit les autres. Un corps transparent incolore laisse passer toutes les sortes de rayons, qui, à leur sortie, conservent l'aspect de lumière blanche, et il ne réfléchit qu'une très-petite partie de tous ces rayons. Un corps transparent coloré absorbe certains rayons de la lumière, et laisse passer les autres à travers sa substance. On peut démontrer expérimentalement que la couleur des corps opaques tient à ce qu'ils absorbent certains rayons de la lumière et en réfléchissent d'autres.

Quand des corps colorés qui réfléchissent les rayons *a*, viennent à être éclairés par une autre lumière colorée absolument homogène, ils ne sont point en état de réfléchir cette dernière, qu'ils absorbent, et paraissent en conséquence totalement incolores. La mèche d'une lampe à esprit de vin, qu'on a im-

prégnée de sel marin, donne une lumière jaune homogène, d'après la remarque de Brandes; vus à cette lumière, tous les objets colorés paraissent sans couleur, à l'exception de ceux qui sont jaunes. Cependant, la plupart du temps, la lumière colorée n'est point homogène, et contient de la lumière blanche, indépendamment de celle d'une teinte particulière qui y prédomine. Les corps colorés transparens, tantôt paraissent d'une teinte différente par réflexion et par transmission, tantôt offrent la même dans les deux cas. Le même nuage peut paraître bleuâtre par réflexion, et jaune ou orangé par transmission; dans le premier cas, il laisse passer les rayons jaunes et rouges, que nous ne voyons pas, et nous envoie les bleus, qu'il réfléchit; dans le second, nous voyons les rayons orangés transmis, et non les bleus, qui sont réfléchis. Brandes explique de cette manière la teinte tantôt bleuâtre, tantôt aurore de l'atmosphère. Quand le temps est beau, l'atmosphère paraît bleuâtre à l'est, où elle nous réfléchit la lumière bleue, laissant passer la jaune et la rouge, que nous ne voyons pas; mais elle est orangée à l'ouest, où elle laisse passer la lumière jaune et rouge, qui nous arrive, tandis qu'elle réfléchit la bleue. C'est par la même raison qu'un verre laiteux bleuâtre semble d'un rouge de feu quand on le regarde à contre-jour. D'autres corps transparens ont la même couleur par transmission et par réflexion; ils réfléchissent une partie d'une lumière colorée *a*, tandis qu'ils laissent passer une partie de cette même lumière, et ils absorbent complétement les autres rayons colorés.

C. *Couleurs par interférence des rayons lumineux.*

La théorie newtonienne des couleurs n'est point renversée par les phénomènes qu'on explique au moyen du principe, découvert par Th. Young, de l'interférence des rayons lumineux, ou de l'action des ondes lumineuses les unes sur les autres. Comme de nombreux phénomènes de coloration, dont on avait eu jusqu'alors beaucoup de peine à se rendre compte,

sont redevables de leur origine à cette loi, il est nécessaire, pour compléter l'histoire des couleurs physiques, d'exposer les principaux points de la théorie de l'interférence et des couleurs produites par elle.

La propriété d'agir réciproquement les uns sur les autres, que Young a découverte dans les rayons lumineux, consiste en ce que deux de ces rayons, qui partent d'un point, et qui parviennent à un autre point en suivant des voies peu différentes et sous un très-petit angle de convergence, acquièrent une faculté d'illumination plus intense dans certaines circonstances, et perdent entièrement cette faculté dans d'autres conditions. Cette action réciproque qu'ils exercent les uns sur les autres, est ce qu'on nomme interférence. Supposons que le cône lumineux *a*, *b*, *c*, émané du point *a*, tombe dans un espace obscur; qu'à quelque distance du sommet de ce cône se trouve une languette étroite de carton ou de bois (qui, pour plus de clarté, a été rendue très-large dans la figure), et que *b c* soit un plan recevant l'ombre. Si la lumière qui part de *a*, est d'une seule couleur, par exemple de la couleur prismatique rouge, au lieu d'une ombre simple sur la paroi *b c*, il se projette une série de lignes alternativement colorées et obscures, dont les premières ont la même teinte que le cône lumineux. Si l'on rapproche beaucoup du corps le plan *b c*, l'ombre est pure, bien dessinée et sans lignes; si on l'éloigne,

Fig. 21.

il se développe plus ou moins de ces lignes. La ligne médiane, en *d*, est colorée. Le phénomène des lignes claires et obscures cesse aussitôt qu'on reçoit la lumière sur l'un des bords d'une carte, de manière qu'elle n'arrive point, de ce côté, jusqu'au plan *b c*. Ceci prouve que le phénomène ne dépend pas de l'influence de la lumière sur les bords, mais de l'action mutuelle des rayons qui passent au devant des bords opposés. Mais que ces rayons se rencontrent derrière la carte, c'est ce qui résulte des lois de l'inflexion à laquelle la lumière est soumise, quand elle passe immédiatement au bord des corps. En effet, le bord de la carte au devant duquel les rayons passent, les infléchit de la direction *a b* en celles *g*, *f*, *e*, *d*. L'inflexion la plus forte est celle des rayons les plus rapprochés du bord ; elle diminue à mesure que l'éloignement augmente, jusqu'à ce qu'à une certaine distance les rayons reprennent la direction *a b*. L'inflexion de la lumière aux bords de la carte a donc pour effet la réunion de quelques uns des rayons partis du point *a*. Ces rayons ont la même longueur pour le milieu de l'ombre ; mais leurs longueurs diffèrent ponr tous les autres points de celle-ci ; c'est ce qui arrive, par exemple, à ceux qui se réunissent en *e*, en *f*, en *g*. Or comme l'image des rayons rouges infléchis qui émanent de *a* montre des lignes obscures alternant avec des lignes rouges, il suit de là que certains rayons de la lumière rouge, infléchis aux bords opposés de la carte, se sont complétement détruits par leur rencontre en des points du plan, qui, par cela même, paraissent obscurs, tandis que d'autres ne se sont pas détruits et laissent paraître la couleur ronge.

On peut aussi démontrer le phénomène, comme l'a fait Fresnel, en se servant de deux miroirs inclinés l'un sur l'autre d'un très-petit angle pour amener à l'interférence les rayons lumineux émanés d'un point, de manière à remplacer par la réflexion ce qui, dans le cas précédent, était produit par l'inflexion.

L'explication de ce phénomène est facile à donner d'après la théorie de l'ondulation. La lumière rouge n'est point détruite au point *d*; là coïncident des rayons d'égale longueur de cette lumière, qui ont parcouru un nombre égal d'ondes depuis *a* jusqu'à *d* ; les rayons qui coïncident en *e*, *f*, *g*, ont des longueurs inégales, et ils ont parcouru un nombre inégal d'ondes jusqu'à leur rencontre. Tous ces rayons interférens d'inégale longueur, ou se détruisent, ou se renforcent. La différence de longueur des rayons qui coïncident en *e* peut être plus petite ou plus grande que la largeur d'une onde de la lumière rouge, laquelle onde se compose d'une partie condensée et d'une partie raréfiée. Si un rayon a parcouru jusqu'à *e* une onde entière de plus que l'autre pour arriver au même point, les deux ondes ne se troublent point, d'après les lois qui régissent tout mouvement ondulatoire, car la partie condensée de l'onde d'un rayon tombe en *e* sur la partie raréfiée de l'onde d'un autre rayon, ou la partie condensée de l'un sur la partie raréfiée de l'onde de l'autre, c'est-à-dire l'intumescence de l'une sur celle de l'autre, et la dépression de l'une sur celle de l'autre, comme dans la figure ci-contre. Il ne peut résulter de là qu'un renforcement du rayon réfléchi par le plan, puisque les intumescences et les dépressions des ondes se couvrent. La même chose arrivera si la différence des nombres des deux ondes est de trois, quatre, cinq, six ondes entières; car, dans ce cas, les intumescences coïncideront toujours avec les intumescences, et les dépressions avec les dépressions. Si, au contraire, l'un des rayons qui arrivent ensemble à un point n'a fait que la moitié d'une onde entière de plus que l'autre, ou si la dépression de l'un coïncide avec la moitié condensée ou l'intumescence de l'autre, comme dans la figure ci-

Fig. 22.

Fig. 23.

jointe, la raréfaction d'une des ondes et l'intumescence de l'autre se détruiront réciproquement, et le point paraîtra obscur. Si les différences des nombres des deux rayons sont plus petites qu'nne onde entière, mais plus grandes qu'une demi-onde, ou plus grandes qu'une onde entière, mais plus petites que deux, les mouvemens des deux rayons se troubleront plus ou moins. On voit sans peine comment ces phénomènes devaient fournir l'occasion de trouver, à l'aide du calcul, la largeur des ondes lumineuses pour les différentes couleurs. Au reste, les lignes obscures et claires varient de situation suivant l'espèce de lnmière colorée sur laquelle on expérimente.

Dans le cas dont il vient d'être qnestion, les rayons lumineux amenés à l'interférence étaient de la lumière colorée homogène, qui partait d'un point. En se servant de la lumière blanche, on voit apparaître les phénomènes de coloration dont il s'agit pour notre but. Au lieu de bandes homogènes alternativement colorées et obscures, on en aperçoit qui brillent des couleurs homogènes les plus vives. L'explication de celles-ci a été donnée pour l'expérience précédente. Comme les ondes de chaque couleur contenue dans la lumière blanche ont une largeur inégale, chacune des principales couleurs de cette lumière aura ses bandes particulières, claires et obscures, diversement placées.

C'est du principe de l'interférence qu'il est le plus facile de dériver les couleurs qu'on observe dans les lames minces de corps à structure feuilletée, et sur les surfaces couvertes de sillons très-fins. On sait que la surface antérieure ou la surface postérieure d'un corps transparent réfléchit de la lumière. Un rayon qui tombe perpendiculairement sur une mince lamelle transparente est réfléchi en partie par la face antérieure, en partie par la face postérieure; la dernière et la

première parties de ce rayon coïncident ensemble dans la réflexion, et doivent donner lieu à un phénomène d'interférence si la différence des chemins qu'elles parcourent est très-petite. La même chose arrive à des rayons qui tombent obliquement; car avec le rayon réfléchi par la face antérieure coïncide la partie de quelque autre rayon réfléchie par la face postérieure, et il y a là interférence. On explique aussi de cette manière les couleurs qui se remarquent sur des surfaces finement striées; c'est donc là que se rapportent les iridations des lamelles du mica, du verre en feuille, des bulles de savon, de la nacre de perle, etc.

En terminant ces remarques, je donnerai les longueurs et la vitesse des ondes lumineuses pour les diverses couleurs, telles que Herschel les a calculées d'après des phénomènes d'interférence.

LONGUEUR DES ONDES EN MILLIONIÈMES DE POUCE ANGLAIS.		NOMBRE DES ONDES PAR POUCE.	NOMBRE DE BILLIONS DE VIBRATION PAR SECONDE.
Limite du rouge	26,6	37640	458
Limite du rouge et de l'orangé	24,6	40720	495
Limite de l'orangé et du jaune	23,5	42510	517
Limite du jaune et du vert	21,9	45600	555
Limite du vert et du bleu	20,3	49320	600
Limite du bleu et de l'indigo	18,9	52910	644
Limite de l'indigo et du violet	18,1	55240	672
Limite du violet extrême	16,7	59750	727

CHAPITRE II.

De l'œil, comme appareil d'optique.

I. Construction optique de l'œil.

Si nous considérons la construction de l'œil sous le rapport de la sensation de la lumière en général, et de la vue en particulier, nous pouvons distinguer trois formes principales.

1° Les yeux les plus simples, ou points oculaires, des Vers et des animaux inférieurs, à l'égard desquels on ignore si ces organes leur procurent plus qu'une sensation générale de la lumière, c'est-à-dire leur permettent de distinguer autre chose que le jour et la nuit, la clarté et l'obscurité des lieux où ils se tiennent.

2° Les yeux des Insectes et des Crustacés, qui sont composés en manière de mosaïque, et pourvus de milieux transparens isolateurs de la lumière.

3° Les yeux à milieux transparens qui réunissent la lumière.

A. *Yeux simples, ou points oculaires, des Vers et autres animaux inférieurs.*

On peut démontrer que les yeux des Insectes, des Crustacés, des Mollusques, sont pourvus des appareils transparens nécessaires pour séparer la lumière provenant de différens points des objets. En peut-on dire autant des points oculaires qui se voient chez les Vers et autres animaux inférieurs? Ces yeux sont-ils privés d'instrumens optiques, et ne sont-ils pas destinés uniquement à distinguer la clarté et les ténèbres en général, le jour et la nuit? J'ai dit précédemment quels sont les animaux chez lesquels on les rencontre. La Sangsue médicinale en a dix, qui sont disposés en demi-cercle à la face antérieure de la portion céphalique, au dessus de la bouche.

Suivant Weber, ils sont élevés au dessus de la surface, comme une verrue, et ils se prolongent, à l'instar de cylindres, dans l'intérieur de l'animal. Leur extrémité est couverte d'une membrane convexe, transparente, au dessus de laquelle se trouve une lame noire; l'extrémité inférieure des cylindres est noire. On n'aperçoit ni pupille, ni parties transparentes. Rien de semblable ne se voit dans les yeux semi-circulaires de plusieurs Planaires. J'ai étudié la structure des points oculaires chez les Néréides. Dans le genre *Nereis* d'Audouin et Edwards, il y en a quatre placés en carré sur la surface de la tête; ils ne font aucune saillie, et sont simplement couverts par l'épiderme. Arrondis en arrière, plats du côté de la lumière, ils se composent d'une membrane noire, creusée en forme de godet, et d'un corps rond, blanc, opaque, contenu dans cette membrane, et qui se prolonge en un nerf optique. Les quatre nerfs optiques des quatre yeux se plongent, chacun à part, dans la face supérieure du cerveau. Nous avons donc, chez ce animal, des yeux sans appareils optiques transparens. Le renflement logé dans la choroïde est accessible à la lumière; car la choroïde manque du côté externe, et présente là une ouverture circulaire. Mais ce renflement paraît n'être que l'extrémité en forme de papille du nerf optique, puisqu'elle a la même apparence que lui, et qu'elle se continue manifestement avec lui. Il est vrai que la Néréide avait séjourné auparavant dans l'alcool; mais, malgré cette immersion, les parties transparentes des yeux des Insectes, des Arachnides et des Mollusques, conservent leur translucidité(1). Rathke (2) a également observé, dans la *Nereis Dumerilii*, une échancrure en forme de pupille à la choroïde. Cet anatomiste décrit encore une autre forme d'yeux appartenant au genre Lycoris, de la même famille des Néréides; la pupille manquait, et la

(1) MULLER, dans *Ann. des sciences nat.*, XXII, p. 19.

(2) *De Bopyro et Nereide*, Riga 1837.

choroïde entourait l'œil entier. Ici, on peut bien moins encore admettre la faculté de distinguer les formes, et tout au plus doit-on supposer celle de distinguer vaguement la lumière et l'obscurité, au moyen de la lumière qui peut traverser l'enduit pigmentaire. R. Wagner (1), qui a reconnu, sur les Néréides fraîches, le renflement papilliforme du nerf optique, et l'absence de tout organe transparent, croit avoir aperçu, chez de très-jeunes Sangsues médicinales, des parties transparentes, une sorte de cristallin logé dans la région antérieure d'un corps vitré en forme de cloche et couvert d'un pigment granuleux rouge peu adhérent. Ce qu'il y a de certain, c'est que, parmi les animaux de la famille des Néréides, les uns ont une pupille sans organes transparens intérieurs, et les autres n'ont pas même de pupille. Nous sommes donc autorisé à penser qu'ils ne peuvent que distinguer d'une manière très-générale la clarté des ténèbres.

L'existence de véritables organes visuels dans un genre de Néréides sans pupille, avec un enduit pigmentaire couvrant entièrement l'œil, et l'analogie de cet organe avec les yeux d'autres Néréides qui ont une pupille, rend probable que la faculté de sentir la lumière existe aussi chez d'autres animaux inférieurs qui ont des points oculaires noirs ou de couleur foncée, dans lesquels cependant on n'aperçoit pas de pupille. Parmi les Vertébrés, on ne connaît qu'un seul exemple d'yeux sans appareils optiques. J'ai trouvé dans la *Myxine glutinosa* un petit œil logé, non seulement sous la peau, mais même sous les muscles, tandis que l'œil des Bdellostomes, voisins de ces animaux, est situé à la surface. L'œil de la Myxine ne renferme pas de cristallin; on n'y trouve qu'un corps qui le remplit en entier, et qui ressemble plutôt à un bulbe du nerf optique qu'à un corps vitré. Quoique l'œil soit couvert de muscles, cependant la faculté de sentir la lumière peut ne

(1) *Vergleichende Anatomie*, t. I, p. 428.

pas manquer tout-à-fait, puisque nous voyons la lumière à travers l'épaisseur des doigts et d'os entiers. Ces animaux ne peuvent donc que distinguer le jour de la nuit.

B. *Yeux composés, ou à mosaïque, des Insectes et des Crustacés.*

Les yeux composés des Insectes et des Crustacés sont des segmens de sphère plus ou moins grands, immobiles chez les Insectes, mobiles sur des pédicules chez les Décapodes, parmi les Crustacés, et chez quelques autres encore. Le nerf optique se renfle dans leur intérieur en une grosse sphère ou en un segment de sphère, de la surface de laquelle s'élèvent des milliers de fibres primitives nerveuses, qui se dirigent, comme autant de rayons, vers la superficie de l'organe. Cependant ces fibres n'arrivent point jusqu'à l'épiderme transparent. Entre leurs extrémités et la cornée transparente se trouvent des cônes transparens, également dirigés, en forme de rayons, vers la face interne de la cornée, et dont les bases se réunissent avec cette face, tandis que les sommets embrassent les extrémités des fibres du nerf optique. La longueur des cônes varie beaucoup suivant les espèces ; la plupart du temps, ils sont cinq à six fois aussi longs que larges, comme chez la majeure partie des Coléoptères et chez les Lépidoptères; rarement sont-ils fort courts; leur longueur dépasse à peine leur largeur chez les Mouches, parmi les Diptères. La cornée des Insectes et des Crustacés décapodes est également divisée en façon de mosaïque ; chaque petite division, appelée facette, correspond à un cône transparent, avec lequel elle est unie, et à une fibre du nerf optique. Les facettes, hexagones chez les Insectes, ont rarement cette forme chez les Crustacés, où presque toujours elles sont carrées, quoique les divisions ne puissent avoir lieu ici par des lignes droites, et que la convexité de la surface de l'œil fasse qu'elle doive être opérée par des lignes courbes. Il est rare que les facettes soient un peu élevées à l'extérieur et à l'intérieur, c'est-à-

dire lenticulaires, comme chez les Lépidoptères; en général, la surface en est assez plane; elles ont même quelquefois une épaisseur considérable, par exemple, chez les Orthoptères et les Coléoptères. La ressemblance entre leurs faces antérieure et postérieure fait qu'on doit attendre peu de chose de leur action sur la lumière en général; aussi ai-je constaté qu'elles manquent chez un grand nombre de Crustacés, notamment chez les Entomostracés, où néanmoins les cônes transparens existent également. Dans ce cas, la surface de la cornée est parfaitement plane, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur; là seulement aussi les bases des cônes sont arrondies, au lieu d'être unies, comme elles le sont d'ordinaire, avec les facettes de la membrane. Entre les cônes transparens, et même entre les fibres du nerf optique, il y a du pigment, tantôt clair, tantôt foncé, noirâtre, violet foncé, bleu foncé, purpurin, brun, jaune brun, jaune clair, vert, etc. Quelquefois ce pigment forme plusieurs couches superposées, de couleur diverse. Il s'élève jusqu'à la cornée, entre les cônes, dont parfois même il couvre la face antérieure, ou la base, en n'y laissant, dans le milieu de chacun, qu'une ouverture pupillaire, qui devient surtout apparente lorsque les cônes sont fort courts, comme chez les Diptères. Dans d'autres cas, les bases des cônes sont tout-à-fait libres de pigment, qui ne garnit que les points d'intersection des facettes. Chez les Crustacés inférieurs, dont la cornée n'a point de facettes, les corps transparens en forme de cônes ont leurs sommets et la plus grande partie de leur longueur engagés dans le pigment, tandis que leurs extrémités arrondies en sont dépourvues et regardent la face interne lisse de la cornée. Au reste, le nombre des facettes et des cônes varie beaucoup : la plupart du temps il est très-considérable, et s'élève à plusieurs milliers, par exemple à douze et vingt mille dans un seul œil; rarement y en a-t-il peu, comme chez certains Entomostracés. L'union entre les fibres du nerf optique et les cônes a été étudiée d'une manière spéciale par

R. Wagner. Chez les Insectes, les fibres se prolongent en forme de gaînes sur les côtés du cône : or comme, chez les animaux supérieurs, les fibres nerveuses se composent d'un tube et d'un contenu, on peut présumer que ce sont principalement les tubes qui forment ces gaînes (1).

J'ai déjà dit que les yeux d'un grand nombre de Crustacés n'ont pas de facettes à la cornée, et que les bases de leurs cônes sont arrondies. C'est pourquoi j'ai admis, dès 1829, deux modifications principales des yeux composés. Mais il en existe une troisième, qui a été remarquée par Edwards, Burmeister et moi, chez plusieurs Crustacés. C'est celle dans laquelle, outre les corps en forme de cônes, il s'en trouve encore de lenticulaires entre la cornée et les cônes; ces lentilles doivent rassembler les rayons lumineux qui tombent sur elles, et les incliner vers les axes des cônes. Edwards a observé cette disposition dans les Callianasses, chez beaucoup de Brachyures, en particulier le *Cancer maculatus*, enfin dans l'*Amphytoe*, et plusieurs Edriophthalmes (2). J'ai vu aussi des lentilles dans les facettes de la cornée de l'*Hyperia*. Suivant Burmeister, le *Branchiopus paludinus* en possède également, dont l'axe longitudinal est plus long que le traversal (3). Quelques uns de ces animaux, comme l'*Amphytoe* et plusieurs Edriophthalmes, l'*Hyperia* et le *Branchiopus*, ont deux cornées : l'externe est lisse, et l'interne à facettes ou fenêtrée, de telle sorte que les lentilles se trouvent derrière les fenêtres, comme dans le *Branchiopus*.

On peut donc établir les modifications suivantes des yeux à facettes.

1° Yeux composés dont la cornée présente des facettes, et qui sont pourvus de cônes transparens, sans lentilles; les Insectes, et la plupart des Crustacés décapodes.

(1) *Voyez* Wiegmann, *Archiv*, 1835, t. I, p. 372. — Muller, *Archiv*,

(2) *Hist. nat. des Crustacés*, Paris, 1837, t. I, p. 116.

(3) Muller, *Archiv*, 1835, p. 529, 1836, CII.

a. A facettes simples de la cornée.

b. A fortes saillies lenticulaires sur la face interne des facettes; *Meloe.*

2° Yeux composés dont la cornée est lisse et sans facettes.

a. Avec des corps transparens coniques, arrondis à leur base, sans lentilles; *Daphnia*, *Apus*, *Gammarus*, *Cyamus*, etc.

b. A bases des cônes soudées avec la cornée, *Limulus.*

3° Yeux composés ayant des lentilles au devant des corps coniques transparens.

a. A cornée présentant des facettes; *Callianassa* et beaucoup de Brachyures (*Cancer maculatus*).

b. A cornée lisse en dehors et présentant des facettes en dedans *Amhitoe*, plusieurs Edriophthalmes, *Hyperia.*

c. A cornée lisse en dehors et fenêtrée en dedans, *Branchiopus.*

4° Agrégation d'yeux simples, dont chacun contient les parties essentielles des yeux simples, savoir une lentille et un corps vitré sphérique; plusieurs Isopodes, tels que *Cymothoe*, et les Insectes Myriapodes, *Iulus.* Cette disposition fait le passage des yeux à mosaïque sans lentilles à l'organe visuel pourvu d'une lentille qui rassemble les rayons lumineux.

C. *Yeux simples des Insectes, Arachnides, Crustacés et Mollusques, avec des milieux dioptriques réunissant les rayons lumineux* (1).

1. *Yeux simples renfermant une lentille.*

1° *Arachnides.* Les yeux des Arachnides sont construits d'après le même principe que ceux de l'homme et des animaux vertébrés. Derrière la cornée se trouve un cristallin sphérique, et derrière celui-ci un corps vitré. La choroïde

(1) V. Muller, *Ann. des Sc. nat.* XVII, 232 et XXII. — Meckel, *Archiv*, 1839, 125, 208.

forme un anneau noir autour du cristallin. La plupart des Arachnides ont plusieurs de ces yeux : le Scorpion, par exemple, en a deux sur le dessus de la tête, et son plus petit au bord antérieur de celle-ci : j'en ai même compté dix au bord antérieur de la tête dans le *Scorpio teter* du cap de Bonne-Espérance, et dans le *Scorpio occidentalis*.

2° *Crustacés*. Chez ces animaux, les yeux pourvus de milieux dioptriques propres à rassembler les rayons lumineux, ou de cristallins, sont rares : lorsqu'on en rencontre, ils existent de concert avec des yeux à mosaïque. On les nomme ordinairement yeux simples, pour les distinguer de ces derniers. Ainsi le Limule Polyphème a deux yeux simples, indépendamment de ses yeux composés.

3° *Insectes*. Ici les yeux simples contenant un cristallin existent tantôt seuls, tantôt conjointement avec des yeux à mosaïque. Le premier cas est celui de plusieurs Aptères, par exemple des Scolopendres, qui ont quatre yeux de chaque côté de la tête, des Podures et des Aptères parasites. Les larves des Coléoptères carnassiers ont également des yeux simples, sans yeux composés : il y en a deux chez les Cicindèles et les Aristes, et douze, six de chaque côté, dans les larves des Dytiques. Les larves des Hyménoptères sont pour la plupart aveugles; celles des Abeilles ont deux yeux simples. Celles des Lépidoptères possèdent, en général, plusieurs yeux simples de chaque côté. Quelques Insectes parfaits ont deux à trois yeux simples, en outre de leurs yeux composés ; tels sont les Orthoptères, les Hémiptères, les Névroptères, les Lépidoptères crépusculaires et nocturnes. D'après mes recherches, les yeux simples de ces animaux ne diffèrent pas, pour la structure, de ceux des Arachnides. Ils contiennent certainement un cristallin rond, placé immédiatement derrière la cornée convexe, et peut-être une substance comparable au corps vitré. Quelquefois ces yeux sont allongés en travers, comme l'un de ceux de la *Scolopendra morsitans*, et deux

de ceux qui sont disposés en cercle de chaque côté de la tête des larves du *Dysticus marginalis* : en pareil cas, le cristallin a aussi une forme transversalement oblongue.

Les yeux simples des Insectes ne sont probablement destinés qu'à la vision des objets les plus rapprochés. C'est ce qu'on peut déduire de ce qu'ils existent surtout chez les Larves et les Insectes privés d'ailes ; plusieurs observations que j'ai faites sur la situation de ces organes mènent aussi à la même conclusion. Dans le genre *Empusa*, l'œil médian inférieur ne peut, quand l'animal marche, apercevoir que les objets les plus proches, à cause de l'allongement de la tête. Dans la *Locusta cornuta*, il se trouve également placé au dessous de l'avance de la tête. Il en est de même chez les Truxales. Dans le *Gryllus vittatus*, le troisième œil simple est situé en bas, au dessus de la galète : il en est de même chez la plupart des Gryllons à tête conique, comme les *Gryllus serrulatus* et *crenatus*. Chez le *Gryllus lithoxylon*, l'œil simple médian est tout-à-fait caché dans une gouttière entre les antennes, de sorte que son champ visuel doit être fort rapproché et peu étendu. Les yeux simples de l'*Acheta monstrosa* sont à peine perceptibles à la base des antennes, presque dans leur articulation avec la tête. En général, l'inclinaison de la tête des Orthoptères fait que leurs yeux simples se dirigent principalement vers le bas, c'est-à-dire vers le sol sur lequel l'animal court. Chez la plupart des Hyménoptères, au contraire, ils sont tournés plus en arrière, par exemple dans les genres *Malaxis*, *Cimbex*, *Tenthredo*, *Leucopsis*, *Sirex*, *Ichneumon*, *Chrysis*, *Lasius*, etc. Je crois donc pouvoir conclure que, chez les Insectes, ces organes sont plus particulièrement destinés à la vue myope. Il y a entre eux et les yeux composés le même rapport qu'ont les palpes et les antennes. Les antennes et les yeux composés manquent aussi aux Larves.

Mollusques. Des organes visuels construits d'une manière analogue à ceux des Arachnides et des Insectes se rencon-

trent chez beaucoup de Mollusques, notamment dans l'ordre entier des Gastéropodes. Ils renferment aussi un cristallin et des traces plus ou moins sensibles du corps vitré. A l'œil nu, ils représentent des points noirs placés soit à l'extrémité des tentacules, soit dans leur milieu, sur le côté externe, soit enfin à leur base. Dans le genre *Helix*, ils sont à l'extrémité des grandes cornes, un peu de côté. En général, ils ont une choroïde en manière de godet, qui forme ceinture en devant, un cristallin, et un corps vitré, comme le savait déjà Swammerdam. Le *Murex tritonis* possède au moins un des milieux réfringens, un grand corps transparent arrondi. Autrefois on avait méconnu le nerf optique des Limaçons; on prenait pour tel le grand nerf du tentacule, qui appartient à la sensibilité tactile; le nerf optique est beaucoup plus grêle; quoiqu'il semble être une branche du précédent, on parvient néanmoins à l'isoler jusqu'au cerveau. L'organe visuel des Limaçons ne paraît être propre qu'à la vision d'objets très-rapprochés; l'*Helix pomatia* n'évite aucun des objets qu'on lui présente, à moins qu'ils ne soient qu'à deux ou trois lignes de distance de son tentacule.

Les yeux des Céphalopodes contiennent toutes les parties essentielles de ceux des animaux supérieurs, même l'iris et le corps ciliaire.

2. *Agrégation d'yeux simples.*

On peut appeler ainsi les organes visuels de quelques animaux qui offrent la réunion d'un grand nombre d'yeux simples en une masse, dans laquelle cependant chacun d'eux a la structure des yeux simples des Arachnides et des Mollusques, c'est-à-dire qu'il est construit d'après le même plan que celui des animaux supérieurs. J'ai trouvé de tels yeux chez quelques Insectes, les Iules, et chez divers Crustacés, par exemple, les Cymothoës. La surface de l'œil de ces animaux offre des convexités dont le nombre correspond à celui des

yeux agrégés. Près de quarante yeux peuvent être ainsi réunis en une seule masse. Derrière chaque cornée se trouve un cristallin arrondi, et derrière celui-ci un corps vitré également arrondi, qui est entouré par la rétine et la choroïde. Les agrégations d'yeux simples font le passage aux yeux composés à mosaïque qui renferment des cristallins, en outre de leurs corps coniques.

D. *Œil de l'homme et des animaux vertébrés.*

Ce n'est point ici le lieu d'exposer la structure des diverses parties de l'œil, et d'entrer dans les détails de l'anatomie générale de cet organe. Nous devons nous contenter d'indiquer les dispositions principales, celles qui ont le plus d'importance pour l'optique, et les différences les plus essentielles qu'on rencontre dans les diverses classes.

1. *Entourage de l'œil. Paupières.*

Tantôt il n'y a point de paupières, et la peau passe tout simplement sur l'œil, comme chez certains Poissons et plusieurs Reptiles nus, tels que les Protéides et les Pipa; tantôt la peau forme des paupières. Mais la paupière peut aussi être simple ou double; elle peut même ne former qu'une ceinture circulaire, avec une ouverture centrale, comme chez le Caméléon. Aux paupières ordinaires se joint, chez plusieurs animaux, la membrane nictitante, dont on aperçoit déjà un vestige chez les Mammifères, qui acquiert son plus grand développement chez les Oiseaux et les Reptiles écailleux, et dont on retrouve des traces, parmi les Poissons, chez plusieurs Squales. La membrane nictitante des Oiseaux, qui est transparente, peut être ramenée du côté interne de l'œil vers la surface antérieure de cet organe, au moyen d'un appareil musculaire particulier, qui dépend du nerf abducteur. Parmi les Squales, elle existe dans les genres *Carcharias* et *Galeus*,

et manque dans les genres *Scyllium*, *Lamna*, *Selacho*, *Alopecias*, *Notidanus*, *Spinax*, *Centrina*, *Scymnus*, etc.

Une disposition voisine de celle-là est celle qu'on observe chez quelques Sauriens de la famille des Scincoïdes, dont la paupière inférieure est comme cornée et transparente, de sorte que, même quand elle couvre l'œil, elle n'empêche pas l'animal de distinguer les objets. Une autre toute particulière est la capsule immobile située au devant de l'œil des Ophidiens. Chez ces animaux, les paupières sont remplacées par une capsule transparente, qui adhère par sa circonférence entière à la peau, dont elle est un prolongement aminci. Cette capsule se compose de trois lames superposées; une extérieure, continuation de l'épiderme, et qui par conséquent se détache à l'époque de la mue; une médiane, qui se continue avec le derme, et une interne, qui correspond à la conjonctive palpébrale : celle-ci produit, comme à l'ordinaire, la conjonctive oculaire, en se réfléchissant sur elle-même. Entre la capsule et le pourtour extérieur de l'œil règne un vide, dans lequel parviennent les larmes, qui peuvent s'écouler, comme de coutume, à travers le canal lacrymal. Cette structure a été découverte par J. Cloquet. On la trouve même chez les Serpens dont l'œil est couvert d'une peau épaisse, tels que les Amphisbènes et autres; je l'ai constatée aussi chez un Mammifère, le *Spalax typhlus*, dont les yeux semblent couverts d'une épaisse peau velue, au dessous de laquelle la conjonctive forme cependant un petit sac. Parmi les Sauriens, qui d'ailleurs ont des paupières, il en est, les Geckos, dont les yeux présentent cette particularité remarquable qu'ils sont, comme ceux des Ophidiens, recouverts d'une capsule transparente.

Les organes lacrymaux manquent chez les Cétacés, les Reptiles nus et les Poissons.

2. Tuniques de l'œil.

La sclérotique a, chez beaucoup d'animaux, de la tendance à se cartilaginiser et s'ossifier. Chez les Oiseaux, les Chéloniens, les Sauriens, sa partie antérieure offre, autour de la cornée, un anneau composé de petites lames osseuses, qui tantôt se recouvrent à la façon des tuiles d'un toit, et tantôt sont placées les unes à côté des autres. La sclérotique des Poissons renferme presque toujours deux grandes plaques cartilagineuses.

La choroïde est séparable, chez les animaux, en deux feuillets, la choroïde proprement dite, et une membrane interne, appelée ruyschienne. Dans les Poissons, le feuillet externe est la plupart du temps argenté, et l'interne couvert de pigment. Entre eux deux se trouve, en arrière, autour de l'entrée du nerf optique, un corps en forme de fer à cheval et recevant beaucoup de sang, qu'on nomme glande choroïdienne. Le cercle ciliaire, fibreux chez l'homme et les Mammifères, paraît être musculaire chez les Oiseaux. La face interne de la choroïde est couverte, chez tous les animaux, d'une membrane pigmentaire, qui se compose de cellules aplaties, souvent hexagones, contenant les grains de pigment. Il n'y a point de pigment dans ces cellules chez les Albinos. Le pigment manque aussi, chez plusieurs animaux, sur certains points de l'œil, qui paraissent blancs ou doués de l'éclat métallique (tapis). Le tapis des Ruminans, situé à la partie inférieure externe de l'œil, offre bien des cellules, mais il n'y a point de pigment dans celles-ci. Les couleurs métalliques paraissent dépendre d'un phénomène d'interférence dû à la structure de la choroïde, et non d'une couleur matérielle : aussi disparaissent-elles par la dessiccation. Mais le tapis entièrement blanc des Carnassiers, qui forme, au fond de leur œil, une tache triangulaire bien délimitée, doit sa teinte à une couleur particulière, et ne la perd point en se

desséchant. Les tapis des animaux réfléchissent déjà un minimum de lumière, qui tombe dans l'œil, et ils sont cause, par cela même, que lès yeux de ces animaux brillent, non pas dans l'obscurité, comme on le prétend, mais pour peu qu'ils reçoivent une très-petite quantité de lumière.

Le corps ciliaire n'existe plus chez les Poissons, à un petit nombre d'exceptions près. On trouve là un prolongement falciforme, qui passe à travers une fente de la rétine, et s'attache au bord du cristallin, lequel est en même temps retenu dans sa situation par l'organe appelé *campanula Halleri*.

L'iris est mobile chez la plupart des animaux : il a peu ou point de mobilité chez les Poissons osseux. Dans le Cheval, le Narwal, le Lama et les Raies, il offre un appendice en forme de voile au bord supérieur de la pupille. Celle-ci est tantôt ronde, tantôt allongée, soit en travers, comme chez les Ruminans, soit en long, comme chez les Chats et le Crocodile ; tantôt triangulaire, comme dans le *Bufo igneus*, etc. Aux Oiseaux appartient en propre le peigne, pli pyramidal et couvert de pigment, qui naît de la choroïde, traverse le corps vitré, et se dirige vers le bord du cristallin. Cet organe est situé à la partie postérieure et externe de l'œil ; il existe chez tous les Oiseaux. Les Sauriens en ont un vestige, et peut-être doit-on y rapporter aussi le procès falciforme des Poissons.

3. *Parties transparentes de l'œil.*

Le cristallin est formé de lames concentriques superposées. On a remarqué que ces lames elles-mêmes se composent de fibres ayant la même épaisseur qu'elles, et dont voici la disposition. Qu'on se figure trois lignes tirées du centre de la face antérieure du cristallin à son bord, de manière à partager cette face en trois champs : les fibres se portent parallèlement les unes aux autres, et obliquement, du bord de la lentille vers ces trois lignes, en traversant les couches, d'où résultent dans chacune de celles-ci trois champs de fibres. Les trois li-

gnes forment une figure non fibreuse, qui reçoit les fibres des trois champs. Brewster (1) a fait voir que les fibres du cristallin se pénètrent réciproquement par des dentelures qu'elles présentent sur les bords, et qui sont surtout très-prononcées chez les Poissons.

Les champs dans lesquels les fibres dentelées sont disposées varient beaucoup suivant les classes et les ordres. Sous le point de vue chimique, le cristallin est composé d'une substance albumineuse, contenant un peu de fer. Ses couches internes sont toujours plus fermes que les externes; dans les Poissons, elles ont une dureté extraordinaire, presque cartilagineuse. Le cristallin est toujours plus convexe chez les animaux aquatiques que chez les animaux aëriens; il a une forme sphérique chez les Poissons, et celui des Seiches est même allongé dans le sens de l'axe de l'œil. Par contre, la cornée des animaux aquatiques est beaucoup moins bombée que celle des animaux aëriens : une cornée convexe ne servirait à rien aux premiers, puisque la puissance réfringente de l'humeur aqueuse diffère très-peu de celle du liquide au milieu duquel ils vivent, tandis que les rayons lumineux subissent une réfraction considérable en traversant la cornée et l'humeur aqueuse des animaux qui vivent dans l'air. Cette réfraction est compensée, chez les animaux aquatiques, par la grande convexité du cristallin. La moitié antérieure du cristallin des Poissons fait saillie dans la chambre antérieure de l'œil, à travers la pupille.

4. *Nerf optique et rétine.*

C'est dans la structure de ces organes qu'on observe les différences les plus remarquables chez les animaux.

Le nerf optique se compose toujours de fibres primitives ayant la même organisation que celles du cerveau. Ces fibres

(1) *Philos. Trans.*, 1836.

sont très-déliées, beaucoup plus que celles d'aucun autre nerf. Tantôt le nerf optique entier a une structure simplement fibreuse, comme chez l'homme; tantôt les fibres se disposent en feuillets sur certains points, le chiasma par exemple, de manière que les feuillets de l'un des nerfs se glissent entre ceux de l'autre, comme chez les Oiseaux et les Reptiles; tantôt, enfin, le nerf entier est membraneux dans son trajet du cerveau à l'œil, disposition que Malpighi avait constatée chez l'Espadon, et qui paraît être générale chez les Poissons. Si l'on ouvre la gaîne du nerf, celui-ci se montre sous l'aspect d'une membrane plissée en manière d'éventail, et la rétine semble ne provenir que de son déploiement, ce qui d'ailleurs s'accorde parfaitement avec la construction de la rétine des Poissons, car cette membrane offre encore deux bords libres, attendu qu'elle est fendue depuis sa partie antérieure jusqu'an fond de l'œil.

L'union que les nerfs optiques contractent l'un avec l'autre, après leur origine, mérite de fixer l'attention. On peut distinguer, à cet égard, les formes suivantes :

1° Conformation des Poissons osseux. Ici les deux nerfs sont unis, après leur origine, par une étroite commissure transversale; après quoi ils se croisent, sans entremêler leurs fibres, et vont se rendre, le droit à l'œil gauche, le gauche à l'œil droit.

2° Conformation des Poissons cartilagineux. Les nerfs ne se croisent pas, comme chez les Poissons osseux; ils sont unis intimement par une commissure, dont on ne connaît pas la structure intime. Cette conformation se rapproche beaucoup du chiasma des animaux supérieurs.

3° Chiasma des Reptiles et des Oiseaux. Il ressemble extérieurement à celui des Mammifères; mais sa texture est lamelleuse; les feuillets d'un des nerfs se glissent entre ceux de l'autre, en se croisant, comme font les doigts de la main lorsqu'on les entrecroise. On ignore encore si toutes les fibres

participent à cette décussation, ou s'il y en a un certain nombre qui continuent de marcher du même côté.

4° Chiasma des Mammifères et de l'homme. Là point de structure lamelleuse. Les fibres des deux nerfs éprouvent une décussation partielle dans le chiasma ; celles qui ne se croisent pas continuent de marcher du même côté. Cette conformation est plus facile à apervoir chez les animaux que chez l'homme.

La structure intime de la rétine a été déterminée dans ces derniers temps par une découverte de Treviranus (1) et par les observations de Gottsche (2). Cette membrane se compose de trois couches principales, une externe pultacée ou granuleuse, une médiane formée de fibres nerveuses, et une interne formée de cylindres, qui sont la continuation de la couche fibreuse. Le nerf optique se divise en cylindres nerveux, qui s'épanouissent en rayonnant dans la couche médiane ou fibreuse. Chaque cylindre nerveux ou chaque faisceau de cylindres s'écarte, suivant Treviranus, de la direction horizontale à un certain point de son trajet, et se dirige vers le côté interne de la rétine, où il se termine en manière de papille. Le diamètre transversal des cylindres était de 0,001 millim. chez le Hérisson ; celui des papilles de 0,0033 chez le Lapin, et de 0,002 à 0,004 chez les Oiseaux. Dans la Grenouille, il est de 0,0044 pour les cylindres, et de 0,0066 pour les papilles. Examinée à l'état frais, la rétine offre sur sa face interne, dans toutes les classes d'animaux vertébrés, de petits cylindres, pressés les uns contre les autres, dont les extrémités regardent l'intérieur de l'œil. Ces cylindres se détachent facilement, et flottent alors librement dans le champ du microscope. Chez les Poissons, ils sont pourvus de petits renflemens ou de papilles, dont Gottsche a donné la description.

(1) *Beitræge zur Aufklaerung des organischen Lebens*. Breme.

(2) Dans Pfaff, *Mittheilungen aus dem Gebiete der Medicin*, 1836, Cah. 34.

Les extrémités des cylindres nerveux à la face interne de la rétine ne peuvent être étudiées qu'à l'état frais ; après la mort, elles s'altèrent d'une manière rapide, et il suffit de quelques heures, surtout en été, pour qu'on ne puisse plus rien distinguer de la texture de la membrane ; on n'aperçoit plus alors, au lieu de cylindres, qu'une couche grenue, qui est celle qu'avaient signalée les anciens anatomistes. Quelque certain qu'on soit de l'existence des trois couches de la rétine, et de celle des cylindres dans la plus interne de toutes, on ne s'explique pas bien la connexion de ces corps avec la couche fibreuse, ni la manière dont elle a lieu. On se demande surtout si le nombre des cylindres ne correspond qu'à celui des fibres nerveuses, ou s'ils sont implantés en séries sur les fibres de la couche fibreuse.

II. Théorie de la vision d'après la structure des yeux.

La théorie de la vision est différente suivant 1° que l'œil se compose de cônes transparens rayonnés, dont les parois sont couvertes de pigment, et qui ne laissent parvenir aux fibres du nerf optique placées au fond du cône que la lumière tombant dans l'axe de celui-ci, comme chez les Insectes et les Crustacés à yeux composés ; 2° que l'œil possède des moyens dioptriques de réunir la lumière, une cornée, avec ou sans humeur aqueuse, un cristallin et un corps vitré, comme les yeux simples des Insectes, des Arachnides, des Mollusques et des animaux vertébrés.

A. *Vision au moyen d'yeux composés et de milieux dioptriques isolés par du pigment.*

La vision chez les Insectes et les Crustacés à yeux composés est d'autant plus intéressante, qu'elle diffère totalement de celle qui s'accomplit au moyen d'un œil semblable à celui de l'homme, et qu'elle nous permet d'approfondir la nature de la fonction elle-même.

Tant qu'on négligea les cônes translucides et couverts de pigment sur les côtés, qui sont placés entre la cornée et les fibres du nerf optique, et qu'on supposa ces dernières prolongées jusqu'aux facettes de la cornée, la vision des Insectes demeura complétement énigmatique. Si les fibres du nerf optique s'étendaient jusqu'à la cornée, chaque point situé au devant de l'œil, *a*, *b*, *c*, *d*, projetterait de la lumière sur toutes ces fibres à la fois, c'est-à-dire que l'animal ne distinguerait point *a*, *b*, *c*, *d*, et n'aurait que la sensation d'une certaine impression résultant du mélange de toutes les diversités. Mais les cônes ne laissent parvenir à leurs fibres nerveuses correspondantes que la lumière qui frappe l'œil dans le sens de leur axe, et toute celle qui rencontre leurs parois obscures se trouve absorbée par elles. De cette manière, chaque cône représente une partie aliquote de l'image, et l'image se compose, à l'instar d'une mosaïque, d'autant de parcelles qu'il y a de cônes, en sorte que sa netteté doit être en raison du nombre de ces derniers.

1. *Degré de netteté de l'image.*

La netteté de l'image qui se projette dans l'œil des Insectes et des Crustacés dépend de causes tout autres que celles qui la produisent dans celui des animaux pourvus d'appareils transparens propres à réunir la lumière. Ici elle a pour condition que la rétine se trouve précisément au foyer de la lentille. Là, au contraire, elle ne tient qu'à la grandeur de l'œil et au nombre des cônes ou facettes qui concourent à la production de l'image. Un œil qui possède douze mille appareils isolateurs doit aussi pouvoir distinguer douze mille parcelles du champ visuel sans confusion. Mais lorsqu'il n'y a qu'un petit nombre de ces organes, chaque cône et chaque facette apporte à l'impression totale celle d'une beaucoup plus grande étendue du champ visuel. En effet, toutes celles des particules d'un corps qui envoient leur lumière au même cône et à sa

fibre nerveuse ne peuvent point être distinguées les unes des autres, et elles ne sont représentées que dans une impression commune mixte. La longueur des cônes doit également influer sur la netteté de la vue chez les Insectes et les Crustacés: car plus elle est considérable, plus la lumière qui vient de côté se trouve écartée, plus les rayons qui parviennent à la fibre nerveuse sont rapprochés de l'axe du cône.

2. *Vue de près et de loin.*

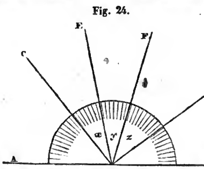
Il résulte des considérations précédentes qu'entre les yeux à mosaïque et les yeux à cristallin, une grande différence existe eu égard à la vue de près et de loin. Les yeux à mosaïque sont également bons de loin et de près, et la distance des objets n'exige pas qu'il s'opère de changement en eux : car, qu'il soit proche ou éloigné, l'objet qui envoie sa lumière suivant l'axe d'un cône est toujours vu distinctement comme point. A la vérité, le nombre des unités qui se représentent comme point seulement doit augmenter avec la distance de l'objet ; mais il n'y a point ici de cercles de diffusion, et nul changement intérieur de l'œil n'est nécessaire pour porter remède à ce défaut. Au contraire, chez les animaux pourvus de milieux propres à rassembler la lumière, la netteté de l'image dépend non seulement de l'éloignement des objets, mais encore de la juste proportion dans la distance de la rétine au cristallin, c'est-à-dire de celle à laquelle les rayons lumineux coïncident ensemble, et cette distance varie, comme je l'ai expliqué plus haut, suivant qu'un intervalle plus ou moins grand sépare l'œil de l'objet : aussi est-il nécessaire, dans ces sortes d'yeux, qu'il s'opère des changemens intérieurs, sans lesquels ils ne pourraient voir distinctement qu'à une distance déterminée.

3. *Etendue du champ visuel.*

L'étendue du champ visuel des Insectes peut être déduite avec la plus grande exactitude de la forme de l'œil ; car, comme il n'y a jamais de vu que ce qui tombe dans l'axe des

cônes, c'est-à-dire dans les rayons de l'œil, en prolongeant par la pensée les axes des cônes qui sont placés sur les bords de ce dernier, on a exactement l'étendue du champ visuel d'un Insecte ou d'un Crustacé. En d'autres termes, plus le segment de sphère que représente l'œil d'un Insecte est grand, plus le champ visuel de l'animal est étendu, et *vice versâ*.

Fig. 24.



Un œil ayant la forme d'une moitié de sphère *fig.* 24 AB représente tout ce qui se trouve placé au devant de lui, depuis le rayon A jusqu'au rayon B. Celui qui n'est que le segment de sphère C D, ne représente non plus que les objets compris entre les prolongemens des rayons C et D. Pour un œil réduit au segment de sphère EF, le champ visuel est bien plus réduit encore. Or, comme la grandeur du segment de sphère diminue en raison de l'aplatissement de l'œil, on peut exprimer la proposition dans les termes suivans : Plus l'œil d'un Insecte est plat, et moins le champ visuel de l'animal a d'étendue, tandis que plus l'organe est convexe, et plus aussi le champ visuel devient étendu. Ainsi, par exemple, une Libellule a un champ visuel très-considérable, parce que son œil représente plus de la moitié d'une sphère : l'animal doit donc bien voir en avant, en arrière et sur les côtés ; ses mouvemens nous prouvent que les choses se passent réellement ainsi, car ils sont prompts, vifs, sûrs, et souvent se déjettent tout à coup de côté. Les yeux plats d'une Punaise d'eau, qui s'élèvent à peine au dessus du sommet de la tête, et qui ne représentent que de très-petits segmens de sphère, doivent avoir un champ visuel rétréci. Chez les Naucores et les No-

tonectes, ces yeux plats sont situés sur le devant de la tête; nous ne devons donc point être étonnés de ce que les mouvemens de l'Insecte dans l'eau soient en harmonie avec son champ visuel si peu étendu ; en effet, il pousse toujours devant lui, sans s'écarter ni à droite ni à gauche.

Il est facile de juger que le volume absolu de l'œil n'exerce pas la moindre influence sur l'étendue du champ visuel. Un œil peut être très-petit, et avoir cependant un champ visuel fort grand, pourvu qu'il représente un grand segment de sphère. Il pent être large, au contraire, et n'avoir néanmoins qu'un champ visuel très-restreint, si le segment de sphère qu'il représente est petit.

4. *Angle optique.*

Ce qui précède fait également connaître de quoi dépend, chez les Insectes, la grandeur relative des images par rapport au champ visuel entier. En effet, les limites de l'image d'un corps quelconque sont déterminées par les rayons lumineux qui, partis des points de l'objet, tombent sur les axes des cônes de l'œil. Si, par la pensée, on prolonge ces rayons en dedans jusqu'au point où ils se rencontrent, l'angle compris entre eux donne l'angle optique. Or si l'on se figure le segment de cercle que l'œil représente, prolongé en un cercle complet, et celui-ci divisé en degrés, minntes et secondes; la surface de l'œil exprime en degrés angulaires la distance des points. Mais comme la grandeur relative des objets dépend toujours de la situation des cônes qui laissent passer la lumière émanée des divers points, on peut, pour chaque objet, indiquer en degrés, minutes et secondes, la valenr de l'angle optique d'après la distance des cônes que traversent les rayons provenant de ses limites.. Des objets placés à d'inégales distances, qui projettent cependant leurs rayons lumineux à travers les mêmes cônes, ont naturellement des images de grandeur pareille ; leur angle optique est le même. Ainsi, dans la

figure précédente, un corps qui s'étend depuis la ligne C jusqu'à la ligne E paraît toujours sous l'angle optique x; et sa grandeur apparente est au champ visuel comme x est à cent quatre-vingts degrés. Le plus petit angle sous lequel un Insecte pourra encore distinguer quelque chose sera celui qui se trouvera compris entre les axes de deux cônes adossés l'un à l'autre. Mais comme il y a plusieurs milliers de cônes dans un œil, la perspicacité de la vue doit diminuer géneralement, d'après cela, chez ces animaux.

Si l'on a bien suivi les déductions précédentes, on sentira que l'œil des Insectes et des Crustacés n'avait pas besoin que sa structure variât pour la vue dans l'air et pour la vue dans l'eau, car ces deux conditions différentes n'apportent aucun changement à rien de ce qui concerne la vision. Aussi mes observations m'ont elles démontré qu'il n'y a pas la moindre différence de structure entre l'œil des Insectes aériens et celui des Insectes aquatiques. Chez les animaux pourvus d'appareils concentrateurs de la lumière, le cristallin a besoin d'une puissance réfringente plus grande pour la vie dans l'eau que pour celle dans l'air, parce qu'il y a moins de différence de densité entre lui et l'eau qu'entre lui et l'air. Mais la puissance réfringente des milieux oculaires ne joue presque aucun rôle chez les Insectes, et chaque cône représente l'objet placé en face de lui, qu'il voie dans l'eau ou dans l'air.

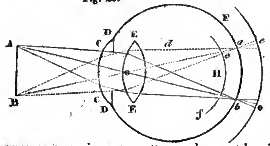
Enfin l'œil d'Insecte le plus complet est celui auquel le volume absolu de l'organe, le nombre des cônes et des facettes et la longueur des cônes procurent une vue nette et distincte, celui aussi qui a un grand champ visuel en raison de sa convexité, ou de l'étendue du segment de sphère qu'il représente.

B. *Vision au moyen d'yeux pourvus d'appareils réfringens.*

Ce qui rend la vue des objets possible dans les yeux composés des Insectes et des Crustacés, c'est que, parmi les rayons du cône lumineux que chaque point isolé projette sur l'organe

entier, celui qui correspond à un certain rayon de l'œil est le seul qui pénètre dans sa profondeur, tous les autres étant écartés. Dans la vision au moyen d'instrumens réfringens, le cône lumineux émané d'un point est de nouveau réuni, par la réfraction, en un point qui se trouve sur la rétine. Mais la réfraction par des milieux réfringens est triple dans l'œil de l'homme et des animaux supérieurs. D'abord les rayons du cône lumineux parti des points *fig.* 25 A et B, sont brisés par la cornée CC et par l'humeur aqueuse comprise entre cette membrane et le cristallin, c'est-à-dire qu'ils sont rapprochés du rayon médian, de celui qui marche parallèlement à l'axe ; car ces milieux réfractent en vertu et de leur convexité et de la différence de densité entre eux et l'air. Une seconde réfraction s'opère à travers la face antérieure du cristallin EE, et les rayons du cône lumineux se rapprochent encore davantage du rayon qui suit l'axe, à cause de la convexité de cette face et de la différence de densité entre l'humeur aqueuse et le cristallin. Une troisième réfraction a lieu quand les rayons du cône quittent le milieu plus dense du cristallin pour passer dans le milieu moins dense du corps vitré. J'ai démontré précédemment qu'une lentille rapproche les rayons de l'axe tant lorsqu'ils passent d'un milieu moins dense à la face antérieure convexe d'un plus dense, que quand ils repassent de la face postérieure convexe de celui-ci dans un milieu moins dense. Donc les rayons des cônes lumineux A et B se réunissent, chacun en un seul point, en *b* et en *a*, et si la rétine F se trouve là, A et B seront sentis

Fig. 25.



en *a* et *b* comme points parfaitement correspondans. Si la rétine n'était point placée en *a* et *b*, mais au devant ou en arrière, par exemple en H ou en G, au lieu de points, des cercles diffus seraient vns, savoir, pour G les cercles *c* et *o*, et pour H les cercles *e* et *f*; car en H les cônes lumineux ne sont pas encore réunis en un seul point, et en G ils ne le sont plus, puisqu'ils ont recommencé à diverger après leur réunion en *b* et en *a*. Il faut donc, pour qu'une image nette se produise, c'est-à-dire pour que les rayons émanés d'un point se réunissent de nouveau en un point, que la rétine F se trouve exactement à la distance du cristallin où s'opère leur coïncidence. Nous avons prouvé que cette distance devient plus grande quand l'objet est plus proche, et moins considérable lorsque l'objet est plus éloigné. La direction que les rayons prennent, en vertu de la réfraction, dépend d'ailleurs du rayon médian du cône lumineux, vers lequel s'inclinent les rayons latéraux. L'image d'un point se projette donc toujours dans la direction des rayons médians, c'est-à-dire de ceux qui sont parallèles à l'axe B*a* et A*b*. A la vérité, le rayon médian d'un cône lumineux qui, au lieu de passer par l'axe même du cristallin, tombe obliquement sur la cornée et la lentille, subit aussi des déviations de sa route. Mais, si l'on fait abstraction de cette circonstance, l'endroit où l'image d'un point se projette sur la rétine est déterminé par le prolongement du rayon parallèle à l'axe, ou par le rayon qui traverse le milieu de la pupille de l'œil. On peut donc, à la figure précédente, substituer celle qui suit :

Fig. 26, A*b* est le rayon central du cône lumineux parti de A, et B *a* celui du cône lumineux émané de B. L'image de A apparaît en *b*, et celle de B apparaît en *a*, renversée par conséquent. Ce qui était en haut dans l'objet est vu

fig. 26.

en bas, ce qui était en bas l'est en haut; de même pour les parties droite et gauche, qui sont vues la première à gauche, et la seconde à droite.

On peut se convaincre de tout ce qui a été discuté jusqu'ici par une expérience sur l'œil d'un animal. Si l'on ouvre avec précaution cet œil par le haut, de manière qu'il soit possible de voir, à travers le corps vitré, ce qui se passe sur la rétine, on distingue au fond de l'organe l'image d'un objet brillant, par exemple d'une fenêtre éclairée. L'expérience est plus facile encore à l'aide de l'œil d'un Lapin atteint d'albinisme, dont les membranes sont translucides à cause de l'absence du pigment noir; il suffit de le bien préparer, d'en placer la partie antérieure en face d'une croisée éclairée, et d'en observer la paroi postérieure translucide. Dans cette expérience, citée par Magendie, on aperçoit au fond de l'œil une image très-nette de la fenêtre, et tout y est renversé.

On nomme angle optique l'angle x compris entre les rayons centraux croisés de deux points d'un objet. Cet angle croît avec la distance du point A au point B, et comme $x=y$ l'éloignement des points de l'image a et b sur la rétine croît aussi avec l'angle optique x. Des objets diversement éloignés qui ont le même angle optique x, par exemple les objets c, d, e, doivent donc aussi projeter sur la rétine des images d'égale grandeur, et s'ils appartiennent au même angle, leur image doit occuper le même emplacement sur cette membrane.

Précédemment, nous avions admis comme rayons parallèles à l'axe ceux qui passent par le milieu de la pupille, et qui par conséquent tombent au voisinage du centre de la lentille cristalline. Cependant cette hypothèse ne répond point d'une manière rigoureuse à la réalité, c'est-à-dire qu'une ligne qui passe par le centre de la pupille ne rencontre point exactement l'image de la rétine. En effet, les rayons médians d'un cône lumineux subissent aussi, quand ils tombent obliquement sur la cornée et le cristallin, une réfraction qui les

dévie de leur direction. De là vient qu'il faut recourir à l'expérience et au calcul pour trouver le rayon qui sert réellement de guide au cône lumineux émané d'un point, et que ce qui a été dit de l'angle optique doit subir une modification en conséquence. Les points de l'image *a* et *b* ne sont donc pas dans le prolongement de B *o* et A *o*. Maintenant une question se présente : de combien une ligne droite allant de l'objet à l'image sur la rétine s'écarte-t-elle du rayon central passant par le centre de la pupille ?

Ne pouvant pas m'engager ici dans tous les détails que comporterait la discussion aprofondie du problème, je me bornerai à donner le résultat des expériences qui ont été faites à ce sujet. Volkmann a publié là dessus d'intéressantes recherches, desquelles il résulte que, dans l'œil, se trouve un point où les lignes tirées de différens objets à leurs images sur la rétine se croisent, et que le point où le croisement a lieu n'est situé ni au milieu de la pupille, ni au milieu du cristallin ; mais derrière celui-ci.

Comme le plan de l'œil, sur lequel les images se forment, est concave, et que, du milieu vers les bords, il se rapproche peu à peu du cristallin, on comprend que les images des objets placés de côté ne peuvent pas être aussi nettes que celles des objets médians, à la distance focale desquels se trouve le milieu de la rétine. Mais le défaut de netteté des images latérales a encore d'autres causes. Car les rayons d'un cône lumineux provenant d'objets placés sur le côté, ne se réunissent pas exactement au même point, à cause de l'inégalité de la réfraction. Cependant la principale cause qui fait que la netteté des images va en décroissant du milieu de la rétine à son pourtour, paraît tenir à cette membrane elle-même.

Les rayons qui tombent sur le bord du cristallin subissent une autre réfraction que les rayons médians ou centraux, en vertu de l'aberration de sphéricité ; la netteté de la vision exigeait qu'il y eût dans l'œil un appareil analogue à celui dont

on se sert dans les instrumens d'optique, c'est-à-dire que le bord du cristallin fût couvert d'un diaphragme qui ne permît qu'aux rayons centraux de passer par son ouverture médiane. Le diaphragme de l'œil est l'iris, et son ouverture la pupille; mais il a l'avantage d'être mobile, de pouvoir s'élargir et se rétrécir. La dilatation de la pupille dans les lieux peu éclairés permet qu'au moins la quantité de lumière compense la perte éprouvée du côté de la netteté de l'image. Il peut aussi arriver, dans certaines circonstances, qu'avec une pupille très-large l'image des rayons marginaux soit nette, lorsque celle des rayons centraux manque de netteté, ou même n'est point vue, parce qu'elle n'est pas reçue à la distance requise. L'étroitesse de la pupille, une juste distance et une lumière vive sont les conditions qui rendent l'image aussi nette et claire que possible, parce que, dans ce cas, la quantité de la lumière suffit, malgré le peu d'ouverture de la pupille, et que l'étroitesse de celle-ci empêche la formation d'une image sans netteté des rayons marginaux, qui ont une autre distance focale.

Relativement au cristallin, cette lentille doit être d'autant plus dense et plus convexe, qu'il y a moins de différence de densité entre l'humeur aqueuse et le milieu dans lequel vit l'animal. Chez les Poissons, le cristallin est sphérique et la cornée plate, la plupart du temps. Chez les animaux qui vivent dans l'air, la cornée est plus convexe et le cristallin plus déprimé.

L'intérieur des parois de l'œil, derrière l'iris et le corps ciliaire, derrière même la rétine, est couvert de pigment noir. Cette disposition offre le même avantage que la couleur noire dont on teint les parois intérieures des instrumens d'optique. Le pigment absorbe les rayons lumineux qui pourraient être réfléchis, les empêche de parvenir une seconde fois au fond de l'œil, et fait ainsi qu'ils ne peuvent pas troubler la netteté de l'image. Tel est le but du pigment qui garnit la face postérieure de l'iris et du corps ciliaire. Mais celui

qui existe à la face postérieure de la rétine et celui même de la choroïde ne sont point sans importance sous ce rapport. La rétine est translucide : si, au lieu d'une membrane de couleur foncée, il s'en trouvait derrière elle une capable de réfléchir la lumière, les rayons lumineux qui auraient déjà rencontré la rétine elle-même seraient réfléchis par elle, et reportés sur d'autres points de cette membrane, ce qui non seulement causerait l'éblouissement par excès de lumière, mais encore troublerait les images. Les animaux chez lesquels manque le pigment de la choroïde, et les hommes atteints d'albinisme, se tronvent dans ce cas; la lumière du jour les éblouit aisément, et ils voient mieux dans l'obscurité. Plusieurs animaux qui se montrent actifs et qui chassent au crépuscule, tandis qu'ils sont lourds et lents pendant la journée, ont également des points de leur choroïde dépourvus de pigment, ou plutôt couverts d'nn pigment blanc, comme les Chats et autres animaux ennemis de la lumière.

La netteté ou la clarté de l'image sur la partie moyenne de la rétine tient à plusieurs conditions diverses :

1° A ce que les rayons lumineux venant d'un point se réunissent complétement en un point correspondant de la rétine, de manière à éviter les cercles de diffusion ;

2° A ce que l'éclairage ait une intensité suffisante ;

3° A ce que les plus petites parcelles de la rétine soient aptes à percevoir, comme si elles étaient séparés les unes des autres.

La première condition dépend de ce que la rétine se trouve exactement à la distance focale de l'image. A elle se rattache le plus ou moins de portée de la vue distincte chez les différens hommes, qui, comme on le sait, tantôt sont myopes, tantôt sont presbytes, tantôt n'ont pas de limites arrêtées sous ce rapport, leur œil pouvant s'ajuster à toutes les diversités de l'éloignement des objets et de la distance focale des images. Cependant, comme la faculté de s'accommoder aux différen-

tes distances, par des changemens intérieurs, a des limites, il y a, pour chaque individu, un éloignement auquel il voit plus nettement qu'à tout autre, et dont la distance focale de l'image est celle qui correspond le mieux à l'intervalle compris entre la rétine et le cristallin, ainsi qu'au pouvoir réfringent des milieux de son œil. Cette distance de la vision distincte peut être évalnée de cinq à dix pieds pour la majorité des hommes. Les objets qui sont trop rapprochés de l'œil projettent sur la rétine des cercles de diffusion d'une grande étendue; c'est ce qui fait qu'un corps mince, par exemple une épingle, qu'on tient trop près de son œil, ne peut être aperçu, ou ne procure que la sensation d'une nébulosité. Il est peu d'hommes qui puissent lire encore l'écriture à une distance de plus de vingt pouces. Cependant la puissance réfringente des milieux de l'œil devient la source de nombreuses différences à cet égard. Le myope ne voit distinctement que les objets très-rapprochés de lui, et ne distingue pas ceux qui sont placés à une grande distance; le presbyte, au contraire, est obligé, pour bien voir un objet petit et difficile à distinguer, de le porter à une plus grande distance.

La seconde condition de la netteté de la vue est une quantité suffisante de lumière. L'excès et le défaut de lumière rendent également tous deux l'image confuse.

Enfin la netteté de la sensation dépend des particules de la rétine qui sont susceptibles de percevoir isolément des autres, comme si elles étaient séparées de celles-ci dans l'espace. Nous en avons un exemple dans les corps qui présentent des lignes très-fines, alternativement blanches et noires. Quand on regarde une gravure d'une distance telle que les images des traits blancs et noirs tombent à la fois sur des parcelles de la rétine d'une certaine grandeur, on ne peut pas distinguer les limites de ces lignes, et l'on n'a qu'une impression mixte de gris. La même chose arrive pour les lignes très-fines, diversement colorées, et dont les teintes alternent ensemble :

si elles sont bleues et jaunes, par exemple, elles font naître l'impression mixte du vert. C'est cette cause enfin qui fait que tous les mélanges de deux couleurs différentes ne nous apparaissent pas comme mélange, mais comme teinte intermédiaire homogène. De là résulte donc qu'il y a, dans la rétine, des minima, qui confondent en un seul tout les impressions reçues par eux, et ne peuvent plus les distinguer les unes des autres, quoiqu'elles soient réellement distinctes dans l'image. Or l'idée se présente naturellement que ces minima sont, suivant toute probabilité, les terminaisons papillaires de la couche interne de la rétine. On peut donc présumer que des rayons différens qui tombent à côté les uns des autres sur ces minima de la membrane nerveuse, ne sont plus sentis distincts, et que chaque papille n'obtient et ne transmet qu'une seule impression moyenne de toutes les influences qui l'affectent en même temps. De cette manière, l'image ressemblerait à une mosaïque, dont chaque élément serait homogène en lui-même. Or les plus petites parcelles de la rétine coïncident assez bien avec les plus petits points sensibles de cette membrane. L'angle le moins ouvert sous lequel nous puissions distinguer deux points est de quarante secondes. Smith a calculé d'après cela que le plus petit point sensible de la rétine avait 1/8000e de pouce. D'après les recherches de Treviranus, le diamètre transversal des papilles de cette membrane est de 0,0033 dans le Lapin, et de 0,002 à 0,004 dans les Oiseaux. Or 0,003 millimètres=0,00011 pouce anglais, et 0,004 millimètres=0,00015 pouce. Donc, en évaluant le diamètre moyen des papilles de la rétine entre 0,003 et 0,004, c'est-à-dire à peu près entre 1/6000e et 1/10000e de pouce, la plus petite partie sensible de cette membrane correspondrait très-exactement à sa plus petite partie matérielle. Les mesures que E.-H. Weber avait déjà données des globules de la rétine, en les portant de 1/8000e à 1/8400e de pouce, s'accordent parfaitement aussi avec ces appréciations.

Cependant il n'y a plus correspondance lorsqu'on prend d'autres déterminations pour point de départ, et Volkmann croit très-probable que la faculté de distinguer avec la rétine a plus de portée qu'elle n'en aurait si les fibres nerveuses étaient les derniers élémens. Muncke admet que le plus petit angle visuel est de trente secondes. Treviranus distinguait jusqu'à une distance de quarante-huit lignes, un point noir de 0,00833 ligne de diamètre sur un fond blanc, et Volkmann calcule d'après cela que le diamètre de la plus petite image sur la rétine est de 0,000060 ligne. Cette évaluation est trop forte encore; car un œil médiocre distingue, à la distance de trente lignes, un cheveu qui n'a que 0,002 ligne de diamètre, ce qui donnerait une image sur la rétine ayant un diamètre de 0,000023 ligne. Un élève de Baër pouvait encore apercevoir à une distance de vingt-huit lignes un poil d'un soixantième de ligne, ce qui, selon Volkmann, donnerait une image sur la rétine de 0,00000014 ligne de diamètre. De là, Volkmann conclut qu'en faisant abstraction du dernier cas, qui est tout-à-fait extraordinaire, les plus petites images sur la rétine sont inférieures aux moindres élémens de cette membrane dont nous connaissons la masse.

III. Changemens intérieurs dans l'œil pour la vision distincte à des distances diverses.

De ce qui précède on peut déjà conclure d'une manière générale que la vision distincte à des distances diverses exige qu'il se passe des changemens dans l'intérieur de l'œil. Le foyer de l'image est un peu plus rapproché du cristallin pour les objets proches, et un peu plus distant pour les objets éloignés. Olbers s'est occupé de rechercher à combien s'élève la différence dans la distance focale pour la vue de près et de loin, avec les conditions de réfraction qui existent dans l'œil (1).

(1) *De internis oculi mutationibus*, Gœttingue, 1780.

Je vais faire connaître par avance quelques uns des résultats auxquels il est arrivé, afin qu'on puisse se faire une idée nette de l'étendue des changemens nécessaires dont il s'agit ici. D'après le calcul d'Olbers, voici quelle serait la distance de l'image à la cornée pour quatre distances de l'objet choisies à titre d'exemple.

DISTANCE DE L'OBJET.	DISTANCE DE L'IMAGE A LA CORNÉE.
Infinie	0,8997 pouce.
27 pouces	0,9189
8	0,9671
1	1,0426

De là résulte qu'une différence de 0,143 pouce dans la distance focale de l'image serait nécessaire pour la vision distincte à des distances diverses depuis quatre pouces jusqu'à un éloignement infini. En conséquence, si la cornée et le cristallin conservent leurs convexités, la distance de la rétine au cristallin n'aurait besoin de changer que d'une ligne environ pour toutes distances des objets, ce qui pourrait être opéré, soit par l'allongement de l'œil, soit par le déplacement du cristallin. Young porte le changement à un sixième de l'axe de l'œil.

On conçoit que le même but pourrait être obtenu sans changement de la distance du cristallin à la rétine, si la convexité ou de la cornée ou du cristallin était susceptible de modifications.

Olbers a recherché aussi par le calcul quel serait le changement que la convexité de la cornée devrait subir pour la vi-

sion distincte à des distances diverses. Le rayon de la cornée pour les quatre cas précédens serait ainsi qu'il suit :

DISTANCE DE L'OBJET.	RAYON DE LA CORNÉE.
Infinie	0,333 pouce.
27 pouces	0,321
8	0,303
1	0,273

S'il était possible que le rayon de la cornée changeât seulement de 0,333 à 0,300 pouce, et que la longueur de l'œil s'accrût d'une ligne, la vision distincte aurait lieu pour toutes les distances au-delà de quatre pouces.

Ces résultats serviront de base aux discussions dans lesquelles je vais entrer.

Il paraît certain que des changemens dans l'intérieur de l'œil sont absolument nécessaires pour que la vision puisse s'accomplir avec la même netteté à des distances diverses. Mais les uns, tels que Delahire et Haller, parmi les anciens, Magendie, Simonoff (1) et Treviranus (2), parmi les modernes, ont réfusé à l'œil l'aptitude à subir de tels changemens, tandis que la majorité des physiciens et des physiologistes la regardent comme étant démontrée par les faits. Magendie se fonde sur ce que l'image dans l'œil du Lapin ne perd pas de sa netteté, quoique la distance de l'objet change, ce qui n'est pas vrai pour tous les cas. En calculant les effets de lentilles

(1) *Journal de Physiologie*, t. IV, p. 260.

(2) *Beitraege zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge*, 1828.— *Beitraege zur Aufklaerung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens*, cah. I, 3.

d'une densité croissante de dehors en dedans, Treviranus est arrivé à conclure qu'en supposant au cristallin une texture de ce genre, la distance focale de l'image resterait la même pour les différentes distances des objets, de sorte qu'il n'y aurait pas nécessité que des changemens intérieurs s'accomplissent dans l'œil.

Tout en reconnaissant l'élégance avec laquelle il a traité ce problème d'optique mathématique, on ne saurait concilier les résultats de ses calculs avec les observations faites sur l'œil. D'ailleurs Kohlrausch a nié la justesse de la déduction elle-même.

La réalité de changemens dans l'œil pour la vision distincte à distances diverses est démontrée incontestablement par des expériences aussi simples qu'exactes.

1° L'état d'accommodation de l'œil subit souvent de grands changemens dans un court espace de temps. Non seulement l'habitude de ne voir que des objets proches rend les enfans myopes, mais encore il n'est pas rare qu'une myopie passagère, qui dure quelques heures, se déclare après qu'on a fait long-temps usage du microscope. Fort souvent alors on distingue mal les objets dans la rue à vingt pieds de distance, quoique d'ailleurs on ait une très-bonne vue, de près comme de loin. J'ai fréquemment éprouvé cet état, qui dure parfois plusieurs heures.

2° Si l'on vise d'un seul œil les extrémités alignées de deux épingles placées à une distance différente, on aperçoit distinctement la première tandis que la seconde paraît nébuleuse, et on distingue très-bien la seconde tandis qu'on voit mal la première. Les deux images sont dans l'axe et se couvrent; cependant il dépend d'un effort volontaire, qui se fait sentir dans l'œil, que la vision distincte soit pour l'une ou pour l'autre. Donc, quand je fixe un objet rapproché avec ma pupille rétrécie, comme elle l'est toujours en pareil cas, et que la distance focale de l'image nette de cet objet se trouve au

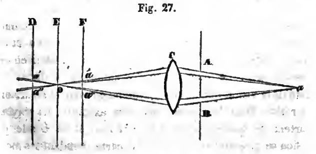
centre de la rétine, les rayons centraux de l'objet éloigné qui traversent la pupille forment un cercle de diffusion autour du centre de la rétine, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas leur foyer à la distance où est cette membrane, mais au devant (1).

On peut varier l'expérience en visant une épingle à travers une petite ouverture pratiquée dans une carte. Il dépend de la volonté de voir nettement le bord de l'ouverture ou l'épingle, mais alors aussi nous n'apercevons pas distinctement l'un ou l'autre.

Treviranus n'a pas accordé à ces phénomènes l'attention dont ils étaient dignes, et l'explication qu'il donne en disant que l'action nerveuse se dérive vers d'autres points, n'est nullement propre à satisfaire. Les deux images tombent sur le même point de la rétine; une épingle couvre l'autre, et cependant on voit la première à travers le cercle de diffusion de la seconde, ou celle-ci à travers le cercle de diffusion de la première. Il ne saurait donc être question ici du report de l'attention sur d'autres points de la rétine. Je vois indistinctement une feuille chargée de lettres, dès que j'opère dans mon œil le changement approprié à une autre distance : ici il n'y a point d'objet de la vision distincte, c'est-à-dire que le changement a lieu pour une distance, ou plus petite ou plus grande, à laquelle ne se trouve aucun objet qui puisse être vu.

3° L'expérience de Scheiner. Si l'on fait, dans une carte,

Fig. 27.



(1) *Jahrbuecher fuer wissenschaftliche Kritik*, 1829, octobre. p. 623.

deux trous d'épingle plus rapprochés l'un de l'autre que le diamètre de la pupille n'est grand, et qu'à travers ces ouvertures on regarde un petit objet *a* placé au devant d'un œil, cet objet ne paraît simple qu'à une distance déterminée ; à toute autre, on le voit double. Ainsi *fig.* 27, A et B étant les ouvertures de la carte, on le voit simple en *o* quand la rétine se trouve en E ; si la distance de *a* est plus considérable, et la rétine placée en D, de manière que l'image ne tombe plus sur la membrane, mais au devant d'elle, en *o*, les rayons se croisent derrière *o*, et la double image *a' a"* tombe sur la rétine D ; de ces deux images, l'inférieure *a"* disparaît quand on bouche le trou opposé ou supérieur A de la carte, et *vice versâ*. La même chose arrive si la distance de *a* est trop petite ; car alors l'image tombe derrière la rétine F, en *o*, et la rétine F reçoit deux images *a' a"*, dont l'inférieure *a"* disparaît dès qu'on bouche le trou correspondant B de la carte.

Les conséquences de cette expérience ont été poursuivies par Porterfield, Young, Purkinje, Plateau et Volkmann, et ce dernier l'a variée de plusieurs manières. Elle prouve évidemment la nécessité de changemens intérieurs pour la vision distincte et l'inexactitude de l'hypothèse de Treviranus, en faisant voir qu'il a des circonstances dans lesquelles l'image tombe ou devant ou derrière la rétine.

Ici se range encore une expérience de Beudant et de Crahay. Si l'on regarde une épingle à une distance de cinq ou six centimètres de l'œil, au travers d'un petit trou percé dans une carte, et qu'on fasse mouvoir celle-ci de droite et de gauche, l'épingle semble être aussi animée d'un mouvement en sens inverse. Le phénomène s'explique par le défaut de netteté de la vision quand l'image tombe en avant et en arrière de la rétine. Dans le premier cas, par exemple, les rayons s'écartent de nouveau après s'être réunis, et un cercle de diffusion se projette sur la rétine. La carte, pendant ses mouvemens, interceptant une partie des rayons, il n'arrive à la

rétine que les rayons croisés provenant d'un côté. De là le déplacement apparent de l'image. Au reste, la diffraction qui a lieu au bord de l'ouverture de la carte joue aussi un rôle dans ces phénomènes.

Les causes qui permettent à l'œil de s'accommoder aux distances peuvent être cherchées dans des parties très-différentes. On peut les attribuer aux mouvemens de l'iris, au déplacement du cristallin, à l'allongement de l'axe de l'œil, au changement de la convexité du cristallin et de la cornée. On trouve dans la grande Physiologie de Haller (1), dans l'ouvrage d'Albers et dans la Biologie de Tréviranus (2), l'exposé de toutes les hypothèses qui ont été imaginées à ce sujet,

1° Mile et Pouillet ont admis pour cause les mouvemens de l'iris. Le premier comptait sur l'inflexion ou la diffraction de la lumière au bord de cette membrane, ce qui, selon lui, devait faire naître des distances focales très-différentes pour les rayons respectifs : le second sur la vision au moyen des rayons marginaux ou centraux suivant le degré d'ouverture de la pupille.

2° Young a cherché cette faculté dans l'allongement et le raccourcissement de l'axe du cristallin. Hunter et Young attribuent à la lentille une contractilité qui lui appartient en propre.

3° Home croyait, avec Englefield et Ramsden, à un changement de la convexité de la cornée, provenant, suivant lui, de l'action des muscles oculaires, et déterminé, chez les Oiseaux, par le muscle particulier que Crampton a découvert dans le cercle ciliaire.

4° Le déplacement du cristallin par le cercle ou les procès ciliaires a été invoqué par Kepler, Scheiner, Porterfield, Camper et beaucoup d'autres.

(1) *Elem. physiol.*, t. V, L. XVI, sect. 4, § 20.

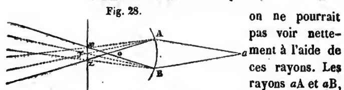
(2) Tom. VI, p. 512.

5° Enfin divers physiciens, comme Rohault, Bayle, Olbers, Home, Schroeder van der Kolk, ont fait valoir l'influence des muscles oculaires sur la forme de l'œil entier, les uns attribuant le changement de cette forme aux muscles droits, et les autres aux muscles obliques.

Quant à ce qui concerne l'iris et la pupille, les mouvemens de l'iris ont une liaison incontestable avec la faculté qu'a l'œil de s'accommoder aux distances. Car l'iris est large quand on voit de loin, étroit lorsqu'on voit de près, et une forte impression de lumière, celle, par exemple, d'une lampe tenue devant l'œil, n'empêche pas qu'on puisse changer beaucoup la grandeur de la pupille, en dirigeant les axes des yeux de manière tantôt qu'ils convergent vers un objet proche, tantôt qu'ils se portent parallélement vers un objet très-éloigné. Cependant ces changemens de l'iris ne dépendent que du mouvement imprimé à l'œil par les muscles oculaires, et de l'influence que le nerf oculo-musculaire commun exerce sur le ganglion ophthalmique et les nerfs iriens. Ce sont des mouvemens associés; car, pour déterminer la contraction de l'iris, il suffit, en fermant un œil, de tourner l'autre en dedans, ou en dedans et en haut, de manière que, à ce titre de mouvement associé, elle se trouve liée indissolublement au mouvement volontaire de plusieurs muscles oculaires dépendant du nerf oculo-musculaire commun. On ne saurait donc reconnaître dans ces phénomènes une connexion immédiate entre le mouvement de l'iris et la faculté qu'a l'œil de s'accommoder aux distances. Mais on se demande jusqu'à point la vision distincte à des distances diverses peut être expliquée par les mouvemens de la pupille.

1° Voici comment Mile explique la vision distincte à des distances diverses par les mouvemens de l'iris et par l'inflexion de la lumière au bord de cette membrane. Soit fig. 28 *a* un point d'un objet dont les rayons centraux se réuniraient non sur la rétine elle-même, mais en avant d'elle, et qu'en conséquence

Fig. 28.



on ne pourrait pas voir nettement à l'aide de ces rayons. Les rayons *a*A et *a*B, passant au bord de l'iris, se réuniraient, au contraire, sur la rétine. Car la lumière subit une inflexion au bord de l'iris, et les rayons marginaux, au lieu de suivre la direction A*o* et B*o*, prendront celle de A*y* et de B*y*, et iront se réunir en *y* sur la rétine. L'endroit où les rayons se réunissent en un point se trouve donc prolongé, par le bord de l'iris, au-delà du foyer des rayons centraux, et comme l'inflexion augmente près de ce même bord, plus les rayons en passent près, et plus ils se réunissent loin derrière le cristallin. La distance focale des rayons centraux et des rayons marginaux n'est donc pas un point déterminé, mais une ligne d'une certaine étendue, en sorte que l'œil aperçoit encore distinctement, par le moyen des rayons infléchis au bord de l'iris un objet dont les autres rayons ne pourraient plus lui procurer la vision distincte.

Le vice de cette théorie consiste, comme l'ont montré Treviranus et Volkmann, en ce qu'elle ne fait servir à la formation de l'image que le petit nombre de rayons qui passent au bord de l'iris, négligeant ainsi et la plus grande masse de la lumière, et les réunions de rayons qui ont lieu sur d'autres points, par exemple en *x* et en *z*.

2° L'hypothèse de Pouillet ne repose par sur l'influence de la lumière au bord de l'iris, mais sur la différence du foyer des rayons centraux et des rayons marginaux, dont les premiers traversent le milieu du cristallin formé de couches plus denses, et les autres ne passent qu'à travers le bord de la lentille, qui est composé de couches moins denses. Les rayons qui tombent sur la partie centrale du cristallin doivent se réunir plutôt que ceux qui viennent frapper le bord. Or, comme la pupille s'élargit pour voir au loin, et se rétrécit pour

voir de près, les rayons marginaux se trouvent écartés dans le second cas, et les centraux seuls se réunissent, tandis que, dans le premier cas, l'œil admet les rayons marginaux, dont le foyer coïncide avec la distance de la rétine au cristallin, puisque le foyer est plus rapproché pour les objets lointains que pour les objets voisins. Mais quand la pupille est large et l'objet éloigné, les rayons centraux, qui alors se réunissent au devant de la rétine, produisent des cercles de diffusion, que Pouillet croit avoir peu d'influence, à cause de l'intensité de l'image formée par les rayons marginaux convergens.

Les phénomènes précédemment cités, qui ont lieu quand on vise deux épingles parallèles placées à des distances différentes, contredisent absolument cette théorie. Nous avons vu qu'en visant d'un seul œil les extrémités alignées des épingles, on aperçoit distinctement la première quand la seconde est nébuleuse, et qu'on distingue bien la seconde lorsque la première n'est vue qu'imparfaitement. Ainsi, dans le cas de pupille étroite pour l'objet proche, l'objet éloigné produit un cercle de diffusion par ses rayons centraux, qui se réunissent au devant de la rétine. Il suit de là, contre l'hypothèse de Pouillet, que quand on fixe l'objet éloigné et qu'on le regarde avec une pupille large, les rayons centraux ne peuvent point être perdus malgré la pureté de l'image produite par les rayons marginaux, et que s'ils ne se perdent pas, la vision distincte à des distances diverses doit dépendre d'une autre cause que celle qui est assignée par ce physicien.

3° Les mêmes réflexions s'appliquent aussi à l'hypothèse de Treviranus, qui admet pour élémens, non seulement la différence de densité du cristallin, mais encore le changement de la pupille. D'après ses calculs, une lentille doit être capable de réunir en un point les rayons lumineux d'objets placés aux distances les plus diverses, quand la pupille modifie, en vertu d'une loi indiquée par lui, le rapport des rayons marginaux aux rayons centraux.

Enfin on peut, avec Volkmann, objecter contre toutes les théories qui dérivent du mouvement du l'iris la faculté qu'a l'œil de s'accommoder aux distances, que si le changement de la pupille était l'unique moyen de parvenir au but, tout changement imprimé par la lumière à cette ouverture, devrait en occasioner un aussi dans l'état d'accomodation, ce qui n'a pas lieu. La vision distincte d'un objet regardé à travers une pupille artificielle en carte, et la possibilité persistante, malgré ce diaphragme, de voir clairement l'une ou l'autre à volonté de deux épingles alignées, prouvent aussi que la faculté d'accommodation n'a point pour cause le changement de grandeur de la pupille, et que si cette ouverture varie suivant les distances, l'effet doit dépendre de quelque autre cause. Si je regarde les lettres d'un livre éloigné de quinze pouces à travers un trou d'épingle percé dans une carte que je tiens immédiatement au devant de la cornée, il dépend de ma volonté, avec cette pupille invariable, de voir ou distinctement ou indistinctement.

Quant à l'hypothèse du changement de la convexité de la cornée, elle paraît être réfutée déjà par les faits dont nous sommes redevables à Olbers; car les muscles oculaires ne sauraient exercer sur l'œil une compression assez forte pour apporter au rayon de la cornée un changement de 0,273 à 0,333 pouce. Home et Ramsden disent bien avoir aperçu des changemens dans l'œil vivant pendant la vue à des distances diverses; mais Young n'a pu constater le fait, et la mobilité de l'œil ne permet d'entreprendre à cet égard aucune expérience sur l'exactitude de laquelle on puisse compter. Ce qu'il semble y avoir de plus convenable, c'est d'observer les images réfléchies par la surface de la cornée, et de voir si leur grandeur et leur situation varient selon la distance des points auxquels elles correspondent.

La théorie suivant laquelle la faculté que l'œil possède de s'accommoder aux distances, dépend d'une compression que



ses muscles propres exercent sur lui, présente aussi des difficultés. A la vérité, on parvient à expliquer les faits par elle; mais rien ne prouve qu'elle soit exacte, puisque les faits se prêtent également à d'autres explications. Il est difficile, comme le fait remarquer avec raison Treviranus, de concevoir un allongement de l'œil dans le sens de son axe, par l'action de ses muscles droits, tel que l'admettait Olbers. La pression de ces muscles doit refouler le corps vitré en arrière et en avant; mais les muscles oculaires ne tirent l'œil qu'en arrière, et si le coussin graisseux oppose un obstacle, le globe sera plutôt aplati qu'allongé; or cette circonstance ne favoriserait que la vue de loin, dans laquelle le foyer est plus court. D'ailleurs, on ne sent un effort intérieur dans l'orbite que quand on regarde des objets très-rapprochés. La compression et l'allongement de l'œil sont beaucoup plus faciles à accomplir par les muscles obliques, qui ont le pouvoir d'attirer l'organe vers le côté, contre la paroi interne. C'est de cette manière que Lecamus, Rohault et Schrœder Vander Kolk ont expliqué l'accommodation. Une circonstance parle en sa faveur, c'est que les yeux sont toujours obligés de converger fortement lorsqu'on regarde de près; les muscles obliques pourraient fort bien agir alors, ainsi que Luchtman (1) l'a établi avec beaucoup de sagacité. Mais des objections s'élèvent contre cette théorie, de même que contre toutes celles qui attribuent l'accommodation à l'action des muscles oculaires. L'impression locale des narcotiques peut mettre rapidement l'œil dans un tout autre état d'accommodation, tandis qu'en même temps la pupille se dilate. Ce phénomène ne saurait être expliqué par la transmission du narcotique de la conjonctive aux muscles oculaires et à leurs nerfs, puisque l'imbibition ne rend raison que de la pénétration à une profondeur bornée. En outre, la nar-

(1) *De mutatione axis oculi secundum diversam distantiam objecti*, Utrecht, 1832.

cotisation locale ne trouble en rien le mouvement des yeux par les muscles obliques. Le meilleur moyen à employer pour cela consiste à instiller sur la conjonctive quelques gouttes d'une solution légère d'extrait de belladone. Au bout de quelques temps (un quart d'heure), la pupille devient très-large, et alors l'état moyen d'accommodation de l'œil se trouve entièrement changé, sans cependant que la faculté elle-même soit abolie. Les observations que nous possédons sur ce sujet sont très-nombreuses. La plupart témoignent que l'influence des narcotiques détermine la presbytie, conséquence contre laquelle s'élèvent Purkinje et une partie des expériences de Volkmann.

J'ai fait de mon côté quelques expériences à ce sujet. Je vois bien à toute distance. Ce qu'il y avait de remarquable, c'est que l'instillation de l'extrait de belladone dans l'un de mes yeux affectait également l'autre. Lorsque j'ouvrais les deux yeux, le bien portant avait un état de réfraction pour les objets les plus proches, qui seuls paraissaient distincts, tandis que l'œil malade ne distinguait pas nettement de près. Quand les deux organes se disposaient pour la vision distincte à des distances diverses, tantôt l'un et tantôt l'autre voyait plus distinctement. Si l'œil malade se changeait pour des objets rapprochés, involontairement celui du côté sain s'accommodait pour les objets les plus rapprochés. Donc l'œil malade, tout presbyte qu'il était, n'avait nullement perdu son pouvoir intérieur d'accommodation. Il n'avait pas non plus perdu, malgré la grande dilatation de la pupille, l'aptitude aux mouvemens de l'iris. Volontairement il voyait mieux tantôt de près, tantôt de loin; dans le premier cas, l'œil était presque entièrement revenu sur lui-même; dans le second, la pupille se rétrécissait un peu par contraction de l'iris. Lorsque les deux yeux voyaient ensemble, il y avait, en général, des images doubles, et tantôt le spectre de l'œil sain, tantôt celui de l'œil malade était net, suivant que l'effort commun accommodait l'un ou

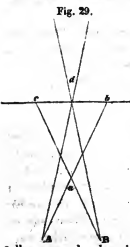
l'autre œil à la vision distincte de l'objet. Quand l'œil malade, presbyte, s'accommodait avec effort pour voir nettement les objets rapprochés, les images étaient d'un tiers environ plus petites que nature, tandis que les images confuses de l'œil sain, qui, dans ces circonstances, ne voyait nettement que tout près de lui, conservaient leur grandeur naturelle.

En laissant de côté les hypothèses qui ont été discutées jusqu'ici, il resterait encore celles qui placent la cause de l'accommodation dans l'intérieur de l'œil, et qui l'attribuent à un changement de la situation ou de la convexité du cristallin, déterminé par le corps ciliaire. Quoiqu'on ne puisse pas réfuter positivement ces hypothèses, il n'est pas possible non plus d'en apporter la preuve directe. Et tel est, en général, l'état de la question, que les phénomènes peuvent être expliqués de plusieurs manières différentes, sans qu'aucune explication soit à l'abri de la critique. Dans cet état de choses, ce qu'il y a de mieux, c'est de mettre en relief quelques faits importans qui n'étaient connus d'aucun des auteurs des théories précitées, et qui, s'ils ne nous apprennent rien sur les causes de la faculté d'accommodation, indiquent au moins la connexion intime existante entre elle et d'autres phénomènes. Les recherches que j'ai faites, en 1826, sur la vue double et la vue simple, m'ont conduit à découvrir, entre les mouvemens de l'œil pour l'accommodation et les mouvemens des yeux et des axes visuels eux-mêmes, une liaison non moins intime que celle qui existe entre l'accommodation et les mouvemens de l'iris, ou entre les mouvemens de l'iris et ceux des axes visuels. Presque tous ceux qui ont écrit sur les changemens internes de l'œil pour rendre la vue distincte aux diverses distances, ont négligé d'avoir égard à cette circonstance importante. Porterfield est le seul, parmi les anciens physiciens, qui l'ait prise en considération.

De même que l'iris se rétrécit constamment dans la position des yeux en dedans, et s'élargit dans leur situation en dehors

ou dans leur parallélisme, de même aussi, quand l'œil se porte en dedans, il s'accommode involontairement pour la vue distincte de près, tandis que, quand les axes visuels s'écartent l'un de l'autre jusqu'à redevenir parallèles, l'accommodation change aussi, se dispose pour la vue distincte de loin, et finit même par la rendre possible à la plus grande distance. On sait qu'on voit distinctement un objet lorsqu'on le fixe, c'est-à-dire qu'on dirige les deux axes visuels sur lui; mais c'est un fait non moins certain qu'on voit un objet indistinctement, et que la faculté d'accommodation se perd, quand cet objet est situé hors des axes visuels, alors même que les parties latérales de la rétine verraient très-bien d'ailleurs. La fausse situation des axes visuels entraîne une fausse accommodation, la fausse accommodation détermine une fausse situation des yeux, et les deux mouvemens sont absolument liés l'un à l'autre en dedans de certaines limites. Si, en voyant un objet, on prend l'accommodation pour une distance plus grande ou moindre, il apparaît double, c'est-à-dire que les axes visuels ne se réunissent pas en lui.

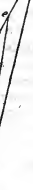
Fig. 29.



Soit, par exemple, fig. 29 *a* l'objet sur lequel les axes des yeux se réunissaient; si l'on cherche à le voir indistinctement, en faisant intervenir l'accommodation pour l'objet imaginaire *d*, aussitôt les yeux se dirigent sur *d*; c'est pourquoi l'on voit *a* double, car il apparaît en *b* pour A, et en *c* pour B. Ces doubles images de *a* sont aussi indistinctes que le permet l'accommodation calculée pour l'objet plus distant *d*. A mesure que l'accommodation pour *d* se rapproche de celle pour *a*, les deux images non-seulement deviennent plus

distinctes, mais encore se rapprochent l'une de l'autre, jusqu'à ce qu'elles se confondent avec l'accommodation pour *a*; les axes visuels se croisent alors en *a*. Des deux images, *b* appartient à l'œil opposé A, et *a* à l'œil opposé B. Aussi *b* disparaît-il quand on ferme l'œil A, et *a* lorsqu'on ferme l'œil B. Constamment les deux images sont du côté opposé, lorsqu'on établit par force une accommodation pour une distance au-delà de l'objet *a*. Si, au contraire, *d* est l'objet vers lequel les yeux se dirigent, et qu'on fasse intervenir l'accommodation pour le point imaginaire *a*, l'objet *d* devient non seulement indistinct, mais double, car, avec l'accommodation pour *a*, les yeux se dirigent involontairement aussi sur *a* : *d* se trouve alors sur le côté de l'axe visuel A*b* et sur le côté de l'axe visuel B*e*, de sorte qu'il apparaît double et confus. Avec le degré de confusion croît la distance des deux images. Celles-ci sont, dans ce cas, situées du même côté que l'œil auquel elles appartiennent, la double image de *d* pour *a* s'écarte de *a* sur le côté de l'œil A, et la double image de *d* pour B s'écarte aussi de *a* sur le côté de l'œil B, comme l'indique la figure.

Fig. 30.



Les effets dont il vient d'être parlé s'entraînent réciproquement, même lorsque l'un des yeux est couvert, et, par cela même, on parvient à démontrer qu'ils sont dépendans l'un de l'autre.

Soit fig. 30 *a* l'œil ouvert, *b* l'œil fermé, *x*, *d*, *e*, *f* des objets placés à diverses distances sur l'axe visuel de l'œil *a*. Si *a* voit distinctement le point *x*, l'axe visuel, même de l'œil fermé *b*, est dirigé involontairement sur ce point, et si l'on découvre l'œil *b*, *x* apparaît simple au point de convergence

des deux axes visuels. Si alors l'œil *a* passe de l'état de réfraction pour *x* à d'autres états de réfraction pour des objets plus éloignés de la ligne *a f*, par exemple pour *e*, pour *f*, l'œil couvert se dirige involontairement aussi sur *e* ou sur *f*.

Par contre, on peut changer l'accomodation en changeant l'inclinaison des axes visuels, et ces changemens surviennent non moins simultanément avec l'accroissement ou la diminution de l'inclinaison des axes, que le rapetissement ou l'agrandissement de la pupille. Si, par exemple, les axes visuels de *a* et de *b* sont dirigés sur le point imaginaire de l'espace *d*, et qu'en conséquence *x* paraisse double, pour l'œil *a* dans la direction *a f*, pour l'œil *b* dans la direction *b c*, les deux images de *x* sont confuses aussi, parce que l'état de réfraction est celui qui convient pour *d*. Si l'axe visuel *a f* ne change pas, mais que l'axe visuel *b d* se meuve dans les directions *b c*, *b f*, etc., de manière que l'inclinaison des axes visuels diminue, l'état de réfraction pour *e*, *f*, etc., change aussi, pendant que les deux images de *x* deviennent de plus en plus confuses. L'un des axes visuels, savoir celui de l'œil ouvert, peut rester sans changement; mais si celui de l'œil fermé change secrètement, un changement survient aussi dans l'état d'accomodation de l'œil ouvert (1).

Dans le cas d'objets placés à de grandes distances, comme le changement de l'état de réfraction a enfin une limite, mais que les yeux peuvent prendre toute situation voulue l'un à l'égard de l'autre, il peut survenir des inégalités entre les deux. Ainsi, par exemple, quand on ne fixe la lune que d'un seul œil, l'autre étant couvert par un objet tenu au devant lui, l'axe de l'œil couvert, malgré l'accomodation pour la distance de la lune, ne se rencontre cependant pas exactement avec celui de l'œil ouvert; car si l'on rend la liberté à l'œil cou-

(1) PORTERFIELD, *A treatise on the Eye*, Edinbourg, 1759, t. I, p. 410. —VOLKMANN, *loc. cit.*, p. 144.

vert, il voit une image double; mais les deux images des deux yeux ne tardent pas à se réunir, parce que l'oscillation des axes visuels est promptement corrigée. Cette observation, que j'indiquai à quelqu'un, n'a point réussi de sa part. Je la mentionne de nouveau, parce qu'elle m'a toujours donné le même résultat.

De ces faits il suit que le changement des axes visuels l'un par rapport à l'autre, entraîne un changement de l'accomodation, alors même qu'il n'y a que l'œil fermé qui change de position à l'égard de l'œil ouvert. Il en est ici absolument comme pour les mouvemens de l'iris; si l'œil ouvert demeure invariablement dirigé vers un point, et que l'œil fermé se meuve, la grandeur de la pupille subit, même dans l'œil ouvert, le changement exigé par la convergence des axes visuels, ce qui fait que la volonté semble avoir de l'empire sur l'iris. Nous avons considéré ailleurs le mouvement de l'iris coïncidant avec celui des axes visuels comme un mouvement associé, parce qu'il ne se manifeste que pendant l'action des muscles pourvus par le nerf oculo-musculaire commun, qui fournit aussi les nerfs moteurs de l'iris, au moyen de la courte racine du ganglion ophthalmique. L'accomodation peut de même être un mouvement associé avec celui des muscles oculaires de dehors en dedans, qui s'est opéré soit par une connexion organique intime dans l'action nerveuse, soit par l'effet de l'habitude. Cependant il est difficile que le mouvement de l'iris associé à celui des axes visuels reconnaisse pour cause une connexion qui soit le fruit de l'habitude.

La volonté exerce aussi quelque peu d'influence sur l'accomodation, sans que les axes des yeux se déplacent nécessairement, et cette circonstance indique que la connexion dont il s'agissait tout à l'heure est secondaire, qu'elle n'agit pas comme cause constante. Plateau a observé sur lui-même qu'on peut, à l'aide d'un effort de sa volonté, rendre la vue des objets confuse par changement de l'état de réfraction, sans même

modifier la situation des yeux. J'avais déjà remarqué qu'il nous arrive quelquefois de ne parvenir que très-imparfaitement, malgré tous nos efforts, à rendre la vue confuse sans production d'images doubles; mais je me souvenais fort bien que, même alors, les images doubles existent, que seulement elles se couvrent en partie. Des expériences que j'ai faites depuis me déterminent à adopter pleinement l'opinion de Plateau, c'est-à-dire à penser que, quelque liaison qui existe entre l'état de réfraction de l'œil et le changement de l'inclinaison des axes visuels, cependant, à force d'exercice, on réussit, sans rien changer à la direction des axes visuels sur un objet, à rendre la vision de ce dernier confuse par changement volontaire de l'état de réfraction, en remplaçant celui-ci par un autre qui soit en rapport avec une autre distance. Dans cette confusion apportée à la vision, l'iris change aussi, comme l'a fait voir Plateau, car la pupille grandit avec l'état de réfraction pour la vision distincte de loin, et diminue avec celui pour la vision distincte de près. Ce serait un exemple de mouvement presque purement volontaire de l'iris, en tant qu'ici le mouvement n'est du moins pas lié au mouvement volontaire des muscles oculaires en dedans et en haut.

Mais ici encore, comme dans tous les phénomènes qui ont été décrits précédemment, le mouvement de l'iris et le changement de l'état de réfraction se montrent unis l'un à l'autre par les liens les plus intimes, et cependant nous ne sommes point autorisés à attribuer au mouvement de l'iris une influence, même indirecte, sur l'accomodation. On a déjà présumé que le mouvement de l'iris peut agir aussi sur le corps ciliaire, et par suite sur la situation du cristallin, parce que le corps ciliaire adhère avec force au pourtour extérieur de la face postérieure de la membrane. Cependant cette hypothèse peut être réfutée d'une manière formelle. Car les changemens de l'iris sont déterminés aussi par la lumière. Mais nous voyons un objet distinctement, qu'il soit fortement éclairé et

par conséquent la pupille rétrécie, ou que l'œil soit dans l'ombre et la pupille large (1). Donc, ce qu'il y a de plus vraisemblable encore, c'est que l'accomodation dépend d'un organe qui se meut facilement avec l'iris, mais qui peut néanmoins en être indépendant jusqu'à un certain point. En raisonnant par voie d'exclusion, on est porté à croire que cette faculté appartient au corps ciliaire, et lui permet d'influer sur la situation du cristallin, mais nous manquons de preuves établissant que ce corps possède la contractilité.

D'après les observations de Young et de Volkmann, la faculté qu'a l'œil de s'accommoder aux distances est diminuée par l'extraction du cristallin dans l'opération de la cataracte.

IV. Myopie et presbytie ; moyen d'y remédier ; lunettes.

1. *Défaut de netteté des objets trop rapprochés. Effets des diaphragmes.*

La vue distincte au plus grand rapprochement possible des objets a des limites chez tous les hommes. Les objets qui ne sont éloignés de l'œil que d'un à trois pouces, ou moins encore, ne produisent plus d'image nette, parce que la réunion de leurs rayons lumineux tombe, chez tous les hommes, derrière la rétine. Si les objets sont petits, ils ne donnent lieu qu'à une espèce de nébulosité, à travers laquelle on en aperçoit d'autres plus éloignés, quoique le petit objet, ainsi tenu devant l'œil, couvre la partie moyenne de la pupille. La vue des objets éloignés à travers la nébulosité des objets proches, tient à ce que, quoique le petit corps arrête ceux des rayons du corps éloigné qui devraient traverser le centre de la pupille, il en laisse cependant passer, sur ses bords, qui parviennent au fond de l'œil. De là résulte qu'une condition nécessaire pour qu'un objet lointain soit aperçu à travers la nébulosité d'un corps tenu très-près de l'œil, c'est que ce dernier soit plus petit que la pupille, afin de laisser passer

(1) Volkmann, *loc. cit.*, p. 156.

les rayons marginaux de l'autre. Dans le cas même où le corps le plus proche couvre presque entièrement la pupille, les rayons périphériques du cône lumineux du corps éloigné n'en passent pas moins par inflexion sur ses bords, pénètrent dans l'œil, et y produisent un image.

On voit aussi un objet éloigné au moyen des rayons qui traversent le pourtour extérieur du cristallin, lorsqu'il passe au bord d'un autre corps tenu devant l'œil. Il est connu que quand, tandis qu'on regarde un corps placé à une certaine distance, un second passe plus près que lui, au devant de l'œil, d'un côté à l'autre, le premier se déforme un peu, et semble s'élargir, dès que le bord du second s'approche de lui. Cet effet paraît tenir en partie à ce que le corps éloigné est vu par les rayons marginaux du cristallin, en partie aussi à l'inflexion que la lumière subit au bord du corps intermédiaire.

La nébulosité que les petits objets très-rapprochés produisent, au lieu d'une image, est d'autant plus grande que la pupille a plus de largeur. Car, comme le cercle de diffusion pour chaque point de l'objet est un segment du cône lumineux qui traverse la pupille, ce cercle doit aussi avoir d'autant plus d'étendue que la pupille est plus large. Mais la nébulosité d'un objet tenu tout auprès de l'œil, par exemple d'une épingle, est due aux cercles de diffusion superposés de tous les points de l'image. Ceci nous explique quelques phénomènes intéressans. Si l'on tient une épingle à une telle distance de l'œil, qu'elle produise encore une image, mais une image nébuleuse, la grandeur de cette nébulosité est plus ou moins considérable suivant que l'œil se trouve éclairé ou dans l'ombre, c'est-à-dire suivant que l'iris s'élargit ou se resserre. On a là une excellente occasion de voir le mouvement de l'iris de son propre œil dans un phénomène de vision.

Mais il y a aussi des circonstances où l'on voit distinctement encore, même lorsque les objets sont très-rapprochés de

l'œil, et où ces objets paraissent très-grossis, bien qu'on n'emploie pas de verres d'optique. C'est ce qui arrive toutes les fois qu'on regarde un objet très-rapproché à travers un petit trou fait à une carte. Henle, qui s'est beaucoup occupé de ce phénomène, a appelé mon attention sur lui et sur les causes d'où il dépend. Lecat, Monro et Priestley le connaissaient. Si l'on tient une page d'écriture tout près de l'œil, on ne distingue aucune lettre; mais si, la distance restant la même, on regarde à travers un trou fait avec une épingle à une feuille de papier, tenue immédiatement devant l'œil, sur-le-champ on distingue très-bien l'écriture, et les lettres paraissent fortement grossies, ainsi que leurs intervalles blancs. On pourrait croire que la netteté de la vision tient à ce que l'étroite ouverture isole les rayons centraux des objets rapprochés, et à ce qu'en vertu de la plus grande densité du noyau du cristallin, ces rayons sont amenés plus tôt à la convergence (tandis que si la densité de la lentille était la même partout, ils se réuniraient plus tard que les rayons marginaux). Mais alors la grandeur des objets ne devrait pas croître. Si l'on objecte que leur grossissement n'est qu'apparent, parce qu'en voyant sans l'ouverture de la carte l'écriture tenue proche de l'œil, on aperçoit seulement le noyau des images par diffusion, sans tenir compte de la grandeur entière des images, cette objection sera facile à réfuter en comparant les images simultanées des deux yeux, dont l'un regarde librement les lettres très-rapprochées de lui, tandis que l'autre les aperçoit à travers le trou de la carte; car les caractères et les blancs paraissent bien plus grands à celui-ci, et comme on voit les deux images à côté l'une de l'autre, on reconnaît qu'un même espace qui renferme trois lignes dans l'une, n'en contient que deux dans l'autre. Lecat et Priestley attribuent le phénomène à l'inflexion de la lumière aux bords de l'ouverture de la carte, et Lecat se fonde sur le changement éprouvé par le contour d'un objet éloigné qu'on vise au

bord d'une baguette : le bord du corps éloigné s'élargit, en effet, lorsqu'on fait passer la baguette devant. Il est possible certainement d'expliquer par l'inflexion la netteté avec laquelle on distingue, à travers l'ouverture d'une carte, les objets très-rapprochés l'œil. Quand elle subit ce qu'on appelle l'inflexion, ou mieux la diffraction, la lumière s'écarte de deux côtés de sa direction : la partie extérieure des rayons infléchis au bord de l'ouverture de la carte tombe encore plus loin, derrière la rétine, que ne le font les rayons d'objets très-rapprochés : ces rayons ne produisent donc plus du tout d'image ; la partie interne des rayons infléchis au bord de l'ouverture arrive plutôt à la convergence, ne tombe par conséquent plus derrière la rétine, mais sur elle, et cela explique la netteté de l'image, malgré la faible quantité de lumière qui y contribue. On n'entrevoit pas bien, dans cette théorie, à quoi tient le grossissement de l'image.

On peut, avec Henle, donner une autre explication du phénomène. Soit *ab* le corps tenu immédiatement devant l'œil, AB les milieux réfringens, C la rétine. Le cône lumineux du point *b* se réunit en *e*, et celui du point *a* en *f*. Donc *bc* est le rayon principal du cône lumineux de *a*. Les points de réunion *e* et *f* sont situés arrière la rétine, parce que l'objet est trop proche. *b* est donc vu avec le cercle de diffusion *a′ b′*, et *a* avec le cercle de diffusion *aβ*. Si maintenant on interpose entre l'objet et l'œil une carte percée de la petite ouverture *o*, les cônes lumineux sont réduits aux faisceaux *bc* et *ad*, qui traversent l'ouverture *o*. L'image de *b* est donc vue sans cercle de diffusion en *a′*, et celle de *a*, également sans cercle de diffusion, en *β*. L'inflexion peut concourir à l'effet, et faire que

Fig. 31.

le faisceau lumineux filiforme qui traverse l'ouverture de la carte ne représente qu'un point sur la rétine. L'image paraît plus grande, parce que la distance des rayons périphériques α' et β des deux cônes est plus considérable que celle des rayons principaux des deux cones.

2. *Myopie, presbytie. Lunettes et optomètres.*

Certains hommes n'ont pas la faculté de produire des changemens dans leur œil pour l'accommoder aux distances, ou du moins n'en ont qu'une si bornée, qu'ils ne distinguent les objets qu'à une distance déterminée; ils sont myopes ou presbytes. Il est impossible de prouver à ces individus que l'œil possède réellement cette faculté; tel était probablement le cas de Treviranus et d'autres encore. La myopie s'observe surtout pendant le milieu de la vie. On rencontre plus fréquemment la presbytie chez les personnes âgées. Ces défauts de la vision sont souvent attribués aux milieux réfringens, à la forme de la cornée; et, en effet, la cornée des vieillards est plus aplatie que celle des jeunes gens; mais c'est dans l'enfance que cette membrane a le plus de convexité, et cependant, comme le fait remarquer Volkmann, il n'est pas rare de trouver des enfans qui soient myopes. La myopie et la presbytie paraissent bien plutôt avoir leur cause prochaine dans le défaut du pouvoir d'accommodation, ou dans la grande faiblesse de cet acte d'énergie musculaire. Car, naturellement, l'œil ne voit d'une manière distincte qu'à une certaine distance, la plus appropriée à la forme de ses milieux réfringens. Ce qui prouve que la myopie et la presbytie dépendent surtout d'une modification ou de la perte de la faculté d'accommoder l'œil aux distances, c'est qu'on peut se rendre méthodiquement myope en négligeant les occasions de voir de loin. Les enfans qui rapprochent trop la tête du papier en lisant et écrivant, deviennent myopes. L'usage constant du microscope rend myope, et détermine souvent une myopie passagère, qui

dure quelques heures. Sous ce rapport, les lunettes nuisent, en deshabituant l'œil de s'accommoder aux distances.

Il arrive quelquefois que les deux yeux ont, pendant la vie entière, un état moyen de réfraction différent, quoiqu'on ne remarque pas toujours alors de différence entre leurs pupilles. Ce défaut d'harmonie peut être l'effet de l'habitude contractée de ne regarder les objets proches qu'avec un seul œil, de l'usage du microscope, et autres circonstances semblables. [La cause qui y donne lieu le plus rapidement est la narcotisation d'un œil par le moyen de quelques gouttes d'une solution d'extrait de belladone qu'on y instille. Dans tous ces cas, les deux yeux, malgré l'inégalité de leur état moyen de réfraction, ou de leur portée moyenne, possèdent cependant encore la faculté de s'accommoder aux distances; l'accommodation volontaire de l'un d'eux agit aussi sur l'autre, mais les deux organes n'en demeurent pas moins inégaux.

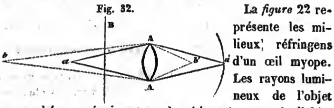
1 Supposons que les deux séries ci-contre de chiffres
2 expriment l'accommodation dans les deux yeux; l'ac-
3 1 commodation 1 a lieu dans l'œil B en même temps que
4 2 l'accommodation 3 dans l'œil A. Si A s'élève jusqu'à 5,
5 3 B monte d'autant, mais ne va que jusqu'à 3. Avec l'ac-
6 4 commodation de 1 l'œil A voit distinctement les objets
7 5 éloignés, tandis que B ne distingue rien. Il peut se
8 6 faire que tous deux ensemble voient distinctement en
9 7 dedans d'une certaine limite, l'image nébuleuse de
10 8 l'un ne troublant pas l'image de l'autre, et toutes deux
9 se couvrant; mais, dans l'état de réfraction approprié
10 aux objets rapprochés, l'œil demeure en jouissance de
11 toute sa faculté visuelle, qu'il n'avait pas pour les ob-
12. jets éloignés. Peut-être A a-t-il atteint en 10 la limite
A B. de la portée de sa vue, tandis que B distingue encore avec 11 et 12. L'inégalité de l'état de réfraction est, chez certaines personnes, la cause qui fait qu'elles commencent à loucher, parce qu'elles emploient de préférence l'œil qui a la

portée moyenne, la plus commode pour l'usage, et négligent l'autre, dont l'image ne les trouble point. De là, quand l'homme, dont les deux yeux ont la même portée, regarde un objet de l'un avec des lunettes, et de l'autre sans lunettes, les axes des ses deux organes ne se réunissent point sur cet objet, et il voit souvent double, comme il arrive lorsqu'on se sert de lunettes dont les verres sont d'inégale force. Les doubles images produites par la non-réunion des axes optiques sur l'objet s'éloignent encore davantage quand l'état de réfraction d'un des yeux vient à être changé par l'extrait de belladone, cas dans lequel, à une certaine portée de l'un des yeux, l'image de l'autre flotte à côté de la sienne, faible et confuse. La cause de ce dédoublement se déduit sans peine de ce que j'ai dit à la fin de l'article précédent. L'état de réfraction influe sur la situation des axes des yeux. La manière dont l'image de l'œil qui voit faiblement perd son influence perturbatrice sera exposée plus loin, quand nous aurons appris à connaître les faits qui prouvent que les champs des deux yeux se trouvent dans une sorte de lutte, qui fait que l'activité nerveuse peut pencher tantôt du côté de l'un, tantôt du côté de l'autre, et la domination osciller entre eux deux.

Il faut maintenant présenter quelques remarques relativement à la manière dont les lunettes corrigent la myopie et la presbytie. L'œil presbyte est corrigé par des verres convexes, et l'œil myope par des verres concaves. Dans le premier, les rayons des objets éloignés se réunissent sur la rétine; mais les rayons des objets voisins, et surtout très-rapprochés, dont la réunion a lieu plus tard, ne convergent que derrière cette membrane. Un verre convexe remédie à ce vice, parce qu'il rapproche le point de convergence des rayons envoyés par les objets proches, et le fait tomber sur la rétine elle-même. Dans l'œil myope, c'est l'inverse : les rayons des objets rapprochés se réunissent sur la rétine, et produisent une image nette; mais ceux des objets éloignés, dont le foyer est placé

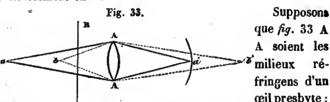
à une moindre distance que celui des autres, se réunissent au devant de la membrane, sur laquelle ils projettent des cercles de diffusion. Un verre concave fait disparaître ce défaut, en dispersant davantage les rayons lumineux, d'où résulte qu'ils se réunissent plus tard, et par conséquent sur la rétine.

Fig. 32.



La *figure* 22 représente les milieux réfringens d'un œil myope. Les rayons lumineux de l'objet rapproché *a* se réunissent sur la rétine *a'*; ceux de l'objet éloigné *b* convergent au devant de cette membrane, en *b'*. Un verre concave B ramène les rayons A *b'*, A *b'* dans la direction de A *a'* et A *a'*, ce qui fait que l'objet éloigné *b* se trouve vu distinctement en *a'*.

Fig. 33.



Supposons que *fig.* 33 A A soient les milieux réfringens d'un œil presbyte : l'objet éloigné *a* réunira sa lumière en *a'*, c'est-à-dire sur la rétine; mais celle de l'objet rapproché *b* convergera en *b'*, derrière cette membrane. Le verre convexe B fait converger davantage les rayons de l'objet rapproché *b*, de manière qu'ils se réunissent, non plus en *b*, mais en *a'*, c'est-à-dire sur la rétine.

L'optomètre, instrument fondé sur l'expérience de Scheiner, sert à déterminer la portée moyenne de la vue de l'homme. On voit, en effet, à quelle distance un petit objet peut être aperçu simple, d'un seul œil, à travers deux trous de carte dont l'éloignement est moindre que la largeur de la pupille. Ou bien on voit à quelle distance la double image d'un fil aperçu à travers les deux trous se croise ou se réunit. C'est

là ce qu'on appelle la portée moyenne de la vue. En avant comme en arrière, un objet qu'on regarde à travers les deux ouvertures, paraît double, c'est-à-dire que son image tombe devant ou derrière la rétine. Cependant l'optomètre de Young ne procure jamais qu'un résultat imparfait, parce que la diffraction que la lumière éprouve en passant sur les bords des petites ouvertures, donne lieu à des phénomènes d'inflexion.

3. Changement de la portée de la vue par les verres grossissans.

Examinons maintenant l'influence que les verres propres à grossir l'image exercent sur la portée de la vue. Les plus simples de ces instrumens sont les loupes ou microscopes. Lorsqu'on tient un petit objet très-près de l'œil, il paraît fort gros, mais tout est confus, parce que la convergence des rayons lumineux a lieu derrière la rétine. L'effet d'une lentille placée entre l'objet et l'œil est de raccourcir la distance à laquelle ces rayons se réunissent. Si, en plaçant convenablement la lentille, on parvient à les faire converger sur la rétine, tous les détails deviennent nets, et l'objet apparaît sous le volume qu'il semblait avoir lorsqu'on le tenait, sans loupe, immédiatement devant l'œil. Dans ce cas, le grossissement n'est qu'apparent; il résulte uniquement du grand voisinage de l'objet, et l'effet de la lentille se réduit à rendre la vue distincte malgré un rapprochement qui augmente le volume. Avec le télescope et le microscope, l'image ne tombe plus dans l'œil, mais au devant de lui; les rayons lumineux se réunissent là pour la produire; mais comme ils n'y sont pas reçus, ils continuent leur route en divergeant, absolument comme si l'objet d'où ils sont partis en divergeant se trouvait sur ce point. C'est là-dessus que reposent et le grossissement et la netteté des images. Car l'angle optique d'une image qui flotte devant l'œil est plus grand que celui de l'objet lui-même. Si l'image flottant devant l'œil occupe la distance de la vision distincte (8 lignes), l'objet, en même temps qu'il est grossi, se dessine

avec autant de netteté qu'en peuvent avoir les objets vus à la distance de la vision distincte la plus naturelle.

Les télescopes servent à grossir et faire apercevoir plus nettement les objets fort éloignés ; les microscopes remplissent le même objet à l'égard des objets rapprochés. Le nombre des verres qui entrent dans leur composition varie beaucoup. Si, derrière le premier, il s'en trouve un second, celui-ci change l'image et son lieu, ou bien, quand l'image du premier verre tombe devant le second, elle tient la place d'un objet pour le second verre. L'image du second peut également être changée par un troisième, ou lui servir d'objet. Le verre qui reçoit la lumière de l'objet même se nomme objectif, et celui qui est tourné vers l'œil porte le nom d'oculaire. Dans le microscope, l'image physique produite par une ou plusieurs lentilles est vue à travers l'oculaire, comme un objet l'est à travers une loupe. La clarté de l'image dépend de la quantité de lumière que l'objectif reçoit de l'objet, ou, dans le microscope, de celle qui est projetée sur l'objet par l'éclairage artificiel (1). Si cette quantité de lumière avec laquelle l'image de l'objet apparaît dans le télescope et le microscope, est plus grande ou plus petite que celle que l'objet projette dans la pupille de l'œil sans l'instrument, la clarté de l'image est plus grande ou plus petite que quand on voit l'objet à nu. Le télescope rend l'image plus claire que l'objet lui-même, parce que l'objectif reçoit de celui-ci, et emploie pour former l'image, plus de lumière qu'il n'en arrive à la pupille quand on regarde l'objet à la vue simple.

V. Chromasie et achromasie de l'œil.

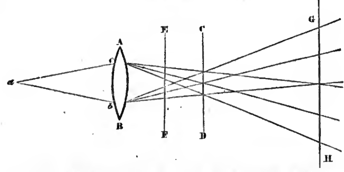
1. *Lentilles chromatiques.*

Quoique les rayons d'un objet éclairé, réfractés par une

(1) Voyez L. Mandl et Ehrenberg, *Traité pratique du microscope*, Paris, 1839, in-8, fig.

lentille, produisent, quand on a évité l'aberration de sphéricité, une image nette dès qu'ils sont reçus à la distance focale de celle-ci, cependant la netteté n'est parfaite qu'autant qu'il s'agit d'une lumière colorée homogène. Car une réunion absolue de la lumière blanche sur un point, par réfraction, est impossible sans secours étranger, même en ayant soin d'éviter l'aberration de sphéricité, parce que les rayons colorés contenus dans cette lumière n'ont pas la même réfrangibilité, et par conséquent ils ne convergent pas tous à la même distance.

Fig. 34.



Soit *a* le point lumineux, et AB *fig.* 34 la lentille, les rayons colorés contenus dans le cône lumineux *abc* sont inégalement réfractés, de manière que, par exemple, les rayons violets, qui sont les plus réfrangibles, se réunissent les premiers, puis les jaunes, et en dernier lieu les rouges. Quelque concentrée que puisse être la lumière, au lieu d'un point coloré, on aura en CD un cercle de diffusion, dont le milieu sera blanc, parce que les rayons colorés s'y couvrent, et dont les bords paraîtront purpurins, parce que les limites extrêmes des rayons violet et rouge s'y feront sentir. Le phénomène de coloration croîtra si l'image est reçue, non pas à la distance moyenne CD, mais en avant ou en arrière d'elle, soit en EF, soit en GH. Que l'image soit reçue, par exemple, en EF, les rayons rouges les

plus extérieurs, qui ne sont couverts par aucun autre rayon coloré, forment un cercle rouge, et les rayons jaunes extérieurs, qui ne sont couverts que de rouge, en forment un orangé contenu dans le rouge, autour d'un centre incolore correspondant à l'endroit où se couvrent les cônes des différens rayons colorés. Si l'image est reçue en GH, les rayons violets les plus extérieurs, qui ne sont pas couverts, forment le cercle coloré le plus extérieur; après eux viennent, en dedans, les rayons bleus, qui, pour la réfrangibilité, les suivent immédiatement; le milieu est blanc.

Lorsque les rayons qui traversent une lentille sont reçus à la distance focale de l'image, le phénomène de coloration se réduit à très-peu de chose, et c'est à peine si les bords de l'image blanche sur un fond obscur offrent une légère teinte purpurine. Mais plus l'écran qui reçoit l'image s'éloigne de la distance focale de celle-ci, plus la bordure colorée et les cercles de diffusion de l'image blanche augmentent.

2. *Lentilles achromatiques.*

Quand les couleurs ont été séparées par un prisme, on peut les ramener à la convergence par un second prisme de même substance et de même angle réfringent que le premier, mais tourné en sens inverse. Les deux prismes, pris ensemble, forment un milieu réfringent à plans parallèles, d'où les rayons lumineux sortent, comme s'ils avaient traversé une table de verre, sous des angles égaux à ceux de leur incidence. Cependant Dollond a découvert que le pouvoir de disperser les couleurs n'est point proportionnel au pouvoir réfringent, qu'il y a des milieux qui réfractent fortement la lumière et la dispersent peu, et *vice versâ*. Cette remarque a fait naître l'idée de construire des primes achromatiques en unissant ensemble des prismes dont le pouvoir dispersif et le pouvoir réfringent fussent différens. Un prisme de crown, uni à un prisme de flint ayant le même angle réfrin-

gent, dévie davantage les rayons parallèles incidens, mais ne les laisse pas sortir incolores, comme il arrive à deux prismes de crown ayant le même angle réfringent que l'on unit ensemble : loin de là les rayons sont décomposés par l'excès du pouvoir dispersif du flint. Mais si l'on diminue assez l'angle réfringent du prisme de flint pour que les deux prismes dispersent la lumière avec la même force, l'un des verres détruit l'effet de l'autre quant à la mise en évidence des couleurs, tandis que la simple réfraction de la lumière persiste. Un prisme achromatique se compose d'un prisme de crown ayant un angle réfringent de trente degrés et d'un prisme de flint dont l'angle réfringent soit de dix-neuf degrés. On conçoit d'après cela la construction de doubles lentilles achromatiques qui détruisent réciproquement leur effet dispersif. Au reste, la double lentille achromatique la plus parfaite ne garantit pas de toute apparition de couleur, quand on ne reçoit pas l'image à sa distance focale, et l'on aperçoit des anneaux colorés dans les meilleurs télescopes, lorsque l'oculaire est porté au-delà des limites de la vision distincte.

3. *Achromasie de l'œil.*

L'œil de l'homme est achromatique, tant que l'image est reçue à sa distance focale, ou tant que l'œil s'accommode à la distance de l'objet. On ne peut pas dire précisément qu'elle est la cause de l'achromasie ; mais la construction optique de l'organe en démontre la possibilité. En effet, les milieux réfringens diffèrent les uns des autres par leur force réfringente, par leurs convexités, et par leur constitution chimique. L'un est le cristallin, qui a deux convexités inégales, le second la cornée avec l'humeur aqueuse. Celle-ci, réunie à la cornée, forme une lentille convexo-concave, dont la force réfringente n'est pas la même que celle du cristallin. Peut-être le pouvoir dispersif des deux milieux réfringens n'est-il pas proportionnel à leur puissance réfractive, et l'achromasie dépend-

elle de là. Les objectifs doubles achromatiques et aplanatiques qu'indique Herschel jeune, ont une ressemblance éloignée avec les milieux réfringens de l'œil pour la forme et la composition. Ils consistent en une lentille antérieure biconvexe, en crown, dont les demi-diamètres sont inégaux et dont la face la plus convexe regarde en dehors, et en une lentille postérieure convexo-concave, en flint, dont le côté concave est tourné vers la précédente.

4. *Chromasie de l'œil.*

C'est par erreur qu'on attribue une achromasie complète à l'œil humain. La chromasie s'y montre plus ou moins prononcée dès que l'image ne se trouve point placée à la distance focale. Les bandes colorées qui naissent à travers les milieux réfringens de notre œil, et qu'on peut jusqu'à un certain point produire volontairement, paraissent avoir été observées la première fois par Scheiner(1). Pour les étudier sur soi-même, il faut regarder un champ blanc sur un fond noir, ou un champ noir sur un fond blanc, en fixant un objet rapproché ou éloigné ; en agissant ainsi, le champ est vu d'une manière indistincte, avec des cercles de diffusion, et, d'après des raisons qui seront indiquées plus loin, il se développe en deux images doubles, qui s'éloignent d'autant plus l'une de l'autre, que les axes des yeux s'écartent davantage de la fixation du champ. Au commencement de l'expérience, on ne les remarque point; mais, avec de l'exercice et de la patience, on parvient à reconnaître la bordure colorée extrêmement étroite qui entoure

(1) Consultez à ce sujet Comparetti, *Observationes dioptricæ et anatomicæ comparatæ de coloribus apparentibus visu et oculo*, Padoue, 1798. *Voyez* aussi un mémoire sur les phénomènes physiologiques de coloration dans Schweigger, *Journal der Chemie und Physik*, t. XVI. —Muller, *Zur Physiologie des Gesichtssinnes*, Léipzick, 1826, p. 194-204.—Et un excellent mémoire de Tortual, dans Meckel's *Archiv*, 1830.

les champs. Le moyen le plus facile d'arriver à la vue indistincte d'un objet est de fixer les axes des yeux sur un corps ou un point idéal de l'espace beaucoup plus rapproché ou beaucoup plus éloigné; aussi ce procédé est-il celui à l'aide duquel on aperçoit le plus aisément les bandes colorées. Cependant, lorsqu'on s'y est exercé pendant long-temps, on peut aussi produire à volonté la vue indistincte avec un seul œil, l'autre étant fermé, en faisant intervenir l'état de réfraction qui correspondrait à un point plus éloigné ou plus rapproché dans l'espace : par-là on donne lieu aux bandes colorées avec un seul œil, et sans avoir d'images doubles de l'objet. Voici quels sont les résultats de mes propres observations.

1° Si l'on considère d'un seul œil un champ blanc sur un fond noir, de manière que l'état de réfraction corresponde à un point plus éloigné que le champ, le champ blanc qu'on aperçoit confusément sur le fond noir, paraît entouré d'une légère et étroite bande colorée, dont les couleurs sont, du blanc au noir, le violet, le bleu, le jaune et le rouge. La plupart du temps, il n'y a que le bleu et le jaune qui soient un peu prononcés.

2° Si l'on contemple un champ blanc sur un fond noir, de manière que l'état de réfraction corresponde à un objet plus rapproché que celui qu'on regarde, les bandes colorées de l'image confuse sont aussi rouges, jaunes, bleues et violettes, mais en sens inverse, le violet et le bleu se trouvant du côté du noir, le jaune et le rouge du côté du blanc.

Si l'on se sert des deux yeux, et que, par conséquent, on ait des images doubles, la succession des couleurs est la même que dans le premier cas quand les axes se croisent derrière l'objet de la double apparition, et la même que dans le second lorsque les axes se croisent au devant de l'objet.

Les bandes colorées subissent une altération par la procidence des images subjectives secondaires au bord de l'image objective, quand l'œil exécute un léger mouvement de côté.

L'image subjective secondaire d'un champ noir sur un fond blanc est blanche, celle d'un fond noir est grise, et celle d'un fond coloré offre la couleur complémentaire opposée. Quand on fixe un champ pendant long temps, l'image secondaire ou physiologique couvre l'image objective ; mais si l'on imprime à l'œil un très-petit mouvement sur le côté, le bord de l'image physiologique apparaît au bord de l'objective. Ces bandes, qui ne paraissent que du côté vers lequel l'œil se porte, doivent être bien distinguées des bandes colorées dioptriques, qui sont objectives, et qui ont leur source dans les milieux réfringens de l'œil. Comparetti a décrit les deux phénomènes mêlés ensemble. La vision des bandes colorées a, comme on voit, des causes entièrement objectives dans l'œil, et, pour ce qui les concerne, il ne faut pas songer à ces changemens dans la rétine dont parlent certains traités de pathologie. Lorsque le phénomène a lieu pathologiquement, il est la suite, non d'un changement dans l'acte de la vision, mais d'un changement dans le pouvoir qu'a l'œil de s'accommoder aux distances. Certaines personnes se plaignent de voir des bandes colorées, quoique leur faculté visuelle n'ait subi aucune altération, et qu'il n'y ait chez elles aucune tendance, soit à l'amblyopie, soit à la cataracte. Ici se rangent aussi les lignes rouges qui se peignent autour des caractères noirs de l'écriture toutes les fois que les moyens internes de changer l'état de réfraction sont paralysés par une affection morale, par un travail d'esprit assidu, par l'envie de dormir. Les bandes colorées dioptriques deviennent très-fortes lorsqu'au moyen de l'extrait de belladone on détruit la faculté qu'a l'œil de s'accommoder aux distances.

Il faut distinguer les auréoles lumineuses colorées des bandes colorées dioptriques.

CHAPITRE III.

Des effets de la rétine, du nerf optique et du sensorium dans la vision.

Tous les phénomènes qui ont été examinés dans le chapitre précédent découlent de la structure optique de l'œil, c'est-à-dire de la construction des milieux transparens placés au devant de la rétine. D'autres, très-nombreux, ne sauraient être expliqués de la même manière; ils tiennent aux propriétés vitales de la rétine, au conflit qui a lieu entre cette membrane et le sensorium. Tels sont, non seulement l'acte de la sensation elle-même et la perception comme lumière et couleurs du changement qui a eu lieu dans la rétine, mais encore la conversion des images de la rétine en intuitions de l'espace, de la distance, de la corporalité et de la grandeur des objets. Tels sont encore le conflit entre les diverses parties de l'appareil sensitif, et beaucoup de phénomènes que la lumière extérieure ne fait point naître, ou du moins ne provoque qu'indirectement dans la rétine.

I. Action de la rétine et du sensorium dans la vision.

A. *Action de la rétine et du sensorium.*

J'ai démontré, dans l'introduction à la physiologie des sens, que la rétine ne se borne pas à transmettre des effets du dehors, et qu'elle réagit aussi sur eux. La lumière et la couleur sont des actions de cette membrane nerveuse et de ses prolongemens au cerveau. Du mode de l'impression extérieure, il dépend que telles ou telles couleurs, telles ou telles images claires soient senties. Aussi la manière d'agir de la rétine est-elle si peu inconnue, que sa propriété, généralement appréciée, de voir des couleurs et de la lumière, quand elle vient à être irritée, est le phénomène fondamental sur lequel reposent toutes les recherches ayant trait à la vision. Les vibrations d'un fluide répandu dans l'univers entier, et qu'on nomme

éther, produisent, avec une certaine vitesse d'ondes, la sensation de telle couleur, et avec une autre vitesse, celle de telle autre couleur, qui, l'une et l'autre, sont l'effet de la réaction de la rétine. L'irritation d'un même point de cette membrane par des ondes de vitesse diverse, donne lieu à la sensation du clair. Mais les mêmes sensations se développent aussi sans le concours des vibrations de l'éther, quand la rétine est irritée, ou par l'électricité, ou par la compression.

Puisque ce sont les changemens de la rétine que nous sentons lorsque nous voyons, on peut dire aussi que, durant l'acte de la vision, cette membrane se sent elle-même, ou que le sensorium la sent dans un état quelconque. Le repos de la rétine est la cause de l'apparition de l'obscurité devant les yeux; son activité est celle de la clarté du champ visuel dans la sensation. En certaines circonstances, on la voit faire naître en elle des images sans nul objet extérieur. Tel est le cas, non seulement des figures que l'électricité et la compression déterminent, mais encore d'un phénomène que Purkinje a observé le premier, et dont je dois parler ici. Si, dans un espace obscur, on promène ou fasse tourner devant ses yeux une bougie de six pouces, on aperçoit, au bout de quelque temps, une figure obscure et ramifiée, dont les branches s'étendent sur le champ visuel entier, et qui n'est autre chose que l'expansion des vaisseaux centraux de la rétine, ou que celle des parties de la membrane qui sont couvertes par ces vaisseaux. A proprement parler, il y a deux figures arborisées, dont les troncs ne se couvrent pas, mais naissent dans la partie droite et la partie gauche du champ visuel, en s'écartant sur-le-champ l'un de l'autre. A chaque œil appartient un tronc; les branches des deux figures s'entrelacent dans le champ commun. Ces figures naissent de la manière suivante. Le mouvement de la bougie à droite et à gauche répand de la lumière sur le pourtour entier de la rétine, et tous les points de cette membrane qui ne sont pas couverts immédiatement

par les vaisseaux centraux reçoivent une lueur pâle, tandis que ceux qui sont couverts par les vaisseaux ne peuvent être éclairés, et paraissent en conséquence obscurs, sous la forme d'arbres noirâtres. L'expérience réussit très-bien chez la plupart des hommes ; chez quelques uns, elle présente des difficultés, ou même échoue. Les figures rameuses semblent être placées au devant des yeux, et voltiger dans le champ visuel.

Cette expérience donne une preuve convaincante de la réalité du fait qu'en voyant nous sentons les états de la rétine, et rien autre chose, et que cette membrane est en quelque sorte le champ visuel lui-même, obscur dans l'état de repos, clair dans celui d'excitation.

Mais l'un des problèmes les plus difficiles est celui du conflit entre la rétine et le sensorium, dans l'acte de la vision. On peut dire que cette partie de la physiologie des sens est entièrement métaphysique, puisque nous manquons jusqu'à présent de moyens empiriques pour nous aider à concevoir ce conflit. Où l'état de la rétine est-il senti ? Est-ce dans la rétine elle-même, ou dans le cerveau ?

Si les états des particules de la rétine n'arrivent à la sensation que dans le cerveau, il faut que le nerf optique les transmette à cet organe dans le même ordre que les particules de la membrane observent les unes par rapport aux autres. A chaque parcelle de la rétine doit correspondre une fibrille du nerf. L'expérience ne s'accorde nullement avec cette hypothèse. Si l'on compare l'épaisseur du nerf optique avec l'expansion de la rétine, il paraît y avoir peu d'espoir d'arriver à un semblable accord ; car le nombre des fibres du nerf semble être beaucoup plus petit que celui des papilles de la membrane. L'accord ne pourrait donc avoir lieu qu'autant que les fibres dites primitives du nerf optique contiendraient encore une multitude d'élémens infiniment plus petits ; cependant il faut penser que la sensation n'est bien nette qu'au

milieu de la rétine; or, si l'on admet que les extrémités des nerfs sont très-serrées les unes contre les autres en cet endroit, mais qu'en dehors elles se trouvent séparées par des intervalles de plus en plus grands, une partie des difficultés s'efface. La sensation est aussi nette au milieu de la rétine, et aussi confuse sur ses côtés, que si une extrémité de fibre nerveuse correspondait à chaque parcelle de l'image dans le premier point, tandis que, sur les côtés, une seule fibre correspondrait simultanément à plusieurs parcelles de cette image, ou que si chaque fibre du bord recevait l'impression sur une partie de sa longueur, tandis que chaque fibre du centre serait affectée seulement par son extrémité punctiforme. Il importerait beaucoup ici de savoir comment les papilles nerveuses de la rétine, observées par Treviranus, se comportent à l'égard de la couche fibreuse de la membrane, et si chaque fibre nerveuse se replie réellement en une papille, comme le dit ce physiologiste, ou si à chaque fibre correspondent des séries entières de papilles. Mais comment une fibre pourrait-elle transmettre jusqu'au sensorinm les changemens de séries entières de molécules matérielles sur sa longueur, si la sensation des lieux ne doit naître que dans le sensorium? Si la représentation des sensations n'a lieu que dans le cerveau, par les extrémités des fibres nerveuses, une fibre ne peut représenter qu'en un seul point toutes les affections survenues dans des parties aliquotes de sa longueur. Si, au contraire, la sensation des différens lieux s'affectuait dans les parties aliquotes de la longueur d'une fibre, il faudrait se figurer l'âme agissant dans chaque particule de la longueur de cette fibre, hypothèse contre laquelle parlent, pour ce qui concerne les nerfs rachidiens, les observations faites sur les sensations qu'éprouvent les amputés. Cette difficulté disparaîtrait en supposant que les nerfs des sens supérieurs participent plus à l'action de l'âme que les autres nerfs, de sorte que l'âme continuerait d'agir jusqu'aux extrémités nerveuses

de la rétine, les nerfs sensoriels n'étant que des prolongemens du sensorium. Dans l'état présent de la science, il est totalement impossible de résoudre cette énigme.

De quelque manière que les choses se passent, ce qu'il y a de certain, dans tous les cas, c'est qu'après la perte de la rétine ou de la partie extérieure du nerf optique, les portions intérieures ou cérébrales du sens de la vue ne peuvent plus produire non seulement les sensations de lumière, mais même les intuitions d'un champ visuel dans lequel des images soient vues. Ici se rangent les phénomènes remarquables observés par Lincke. Un homme auquel on avait extirpé un œil cancéreux, voyait, le lendemain de l'opération, quand il fermait l'œil sain, différentes images voltiger au devant de son orbite vide, comme des lumières, des cercles de feu, de nombreux personnages dansans (1). On avait déjà remarqué souvent des phénomènes analogues sur des personnes totalement aveugles (2). Il paraît découler de là que les affections des fibres nerveuses du nerf optique ne sont employées que dans le cerveau à la construction d'un champ visuel, et il s'ensuivrait aussi, comme conséquence, que toute la mosaïque de la rétine serait représentée dans le sensorium par un nombre correspondant de fibres nerveuses, ce dont on ne peut donner la démonstration empirique.

Le conflit entre les parties terminales et les parties centrales de l'appareil visuel est donc encore fort obscur, et nous sommes obligés de nous en tenir au fait que tout ordre régnant parmi ce que nous voyons dans le champ visuel, dépend de l'ordre des particules de la rétine qui viennent à être affectées.

(1) *De fungo medullari*, Leipzick, 1834.

(2) MULLER, *Ueber die phantastischen Gesichtsserscheinungen*, Coblentz, 1826.

B. *Grandeur du champ visuel dans la représentation.*

La grandeur du champ visuel dépend de celle de la rétine; car on ne saurait jamais voir en même temps plus d'images qu'il n'en peut tenir à la fois sur la rétine entière. En ce sens, la rétine sentie par le sensorium est le champ visuel lui-même. Mais, pour la représentation de celui qui voit, le champ visuel n'a point de grandeur déterminée, et la représentation que nous avons de l'espace au devant de nous, varie à l'infini, tantôt fort petite, tantôt extrêmement grande. En effet, la représentation de ce que nous voyons le projette en dehors de nous, par des motifs qui seront déduits plus tard. Aussi le champ visuel est-il très-petit quand cette représentation se trouve bornée par des obstacles situés au devant de l'œil, et très-grand, au contraire, lorsque la projection hors de nous ne rencontre pas d'obstacles. Le champ visuel est très-petit dans la représentation lorsque nous voyons à travers un étroit corps creux placé devant notre œil, grand lorsque nous contemplons un paysage à travers une petite ouverture, plus grand encore quand nous regardons par la fenêtre, et aussi grand que possible quand nous sommes en plein air, où rien ne gêne notre vue. Dans tous ces cas, la représentation de la grandeur du champ visuel diffère beaucoup, et cependant sa grandeur absolue est toujours la même, c'est-à-dire dépendante de l'étendue de la rétine. En effet, comme je l'ai déjà dit, il nous est impossible de jamais voir plus d'images à la fois qu'il n'y a de place pour elles sur la rétine. Cependant, quoique, en regardant un paysage à travers une ouverture, son image entière ne soit pas plus grande que l'ouverture, et occupe sur la rétine le même espace que le pourtour de cette dernière, la représentation d'un même champs visuel n'en est pas moins extrêmement variée. Il suit donc de là que l'imagination joue toujours un rôle dans la vision, à tel point qu'on aurait finalement de la peine à établir ce qui lui appar-

tient et ce qui est du ressort de la simple sensation. Si nous pouvions, à l'âge adulte, faire abstraction de l'imagination quand nous voyons, il ne resterait plus que la sensation nue, ce qui est peut-être le cas chez l'enfant nouveau né. Pour l'enfant, qui n'a encore aucune idée du voisinage ou de l'éloignement de ce qu'il voit, le champ visuel devrait paraître également grand quand il regarderait dans un tuyau fermé au bout, ou quand il verrait le paysage entier à travers le même tube, mais ouvert. De ces considérations il suit encore que la simple sensation de ce qu'on voit doit être quelque chose de primitif et d'indépendant des représentations.

Fig. 53.

Tout ce qni apparaît sous le même angle optique *axb*, n'a non plus, sur la rétine, qu'une image de même grandeur *ab*. Les objets *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, très-différens de grandeur et placés à des distances diverses, ont le même angle optique et la même image *ab* sur la rétine. Cependant leur image diffère beaucoup, pour la représentation, dès que des idées de proche et de loin se sont développées. Car la représentation agrandit successivement le champ visuel de *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, et l'image *ab* de la rétine se trouve peinte par elle à l'âme aussi grande qu'elle le serait si l'objet était vu de près, c'est-à-dire dans les conditions les plus ordinaires de la vision. D'après cela, un paysage *ab* peint sur le rétine, sous l'angle optique *axb*, peut être représenté ayant des lieues d'étendue, si nous savons que telle est réellement sa grandeur, ou si, de la quantité d'objets connus que nous découvrons en même-temps, nous concluons qu'il doit l'avoir. Et de même que des images d'un même angle optique sont représentées diversement grandes dans le champ visuel, de même aussi le champ entier des particules affectées de la rétine, dont la grandeur

absolue demeure constamment la même, est représenté avec des diversités infinies dans son étendue. C'est ce qui fait qu'en contemplant l'image dans une chambre obscure, on la prend pour un paysage vivant, pour le véritable champ visuel lui-même, quoique ce ne soit qu'une très-petite image projetée sur une table. La même action de projeter hors de nous dans la représentation fait naître aussi la représentation de la profondeur dans l'espace, idée à la consolidation de laquelle ce qui contribue le plus, c'est que, quand nous marchons en avant, d'autres images s'offrent à notre rétine, de sorte que nous semblons cheminer, pour ainsi dire, entre des images, ce qui, pour la représentation, produit le même effet que si nous passions réellement entre les objets vus dans l'espace.

Il est donc clair que le champ visuel représenté est extrêmement variable, tandis que celui de la sensation simple dépend absolument de l'étendue de la rétine ou des parties centrales internes de l'appareil visuel dans le cerveau. Ce qui correspond le mieux à ce dernier, c'est la sensation que nous éprouvons dans la rétine quand nous ne nous représentons aucun objet, c'est-à-dire celle du champ noir étendu devant nos yeux fermés, ou la sensation du champ clair également étalé devant nos yeux fermés, quand la lumière passe à travers nos paupières. Ici encore le champ paraît être immédiatement au devant de l'œil ou dedans. Mais dès qu'une représentation quelconque d'objets déjà vus se joint à ce que nous voyons, la projection au dehors a lieu aussitôt, et la grandeur sous laquelle on se représente ce qu'on voit, dépend de l'expérience individuelle. De là les différences dans la taille que divers individus assignent aux arborisations de la rétine qu'ils voient en répétant l'expérience de Purkinje, et dans la distance à laquelle ces figures leur semblent être de l'œil.

Le sens de la vue se comporte en cela d'une tout autre manière que celui du toucher, à l'égard des objets extérieurs. Pour le toucher, les objets sont immédiatement présens, et la

mesure de leur grandeur est l'étendue de notre propre corps avec laquelle ils entrent en contact. Une table qu'on touche de la main paraît, à l'endroit touché, aussi grande que les parties de la main qui sont affectées par elle; car ici c'est la partie de notre corps que nous sentons qui nous sert de mesure. En effet, la portion palpante de la main fait partie de la surface sentante de notre corps, et la portion touchée de la table paraît aussi grande que la portion palpante de la main le paraît proportionnellement à notre corps entier. Mais toute distinction des parties de notre corps dépend de la possibilité de distinguer dans le sensorium les fibres nerveuses provenant des diverses parties. Dans le sens de la vue, au contraire, les images des objets ne sont que des fractions des objets eux-mêmes réalisées sur la rétine, dont les dimensions ne changent jamais. Mais l'acte de la représentation, qui analyse les sensations de la vue, agit en dehors, et par-là élève les images des objets, ainsi que le champ entier de la rétine, à des grandeurs variables; la seule chose qui demeure intacte, c'est le rapport des images au champ visuel entier, ou des particules affectées de la rétine à la rétine entière.

Volkmann fait remarquer que, dans aucun cas, la rétine ne sent son étendue matérielle, et que même le sens du toucher ne nous procure pas l'intuition de notre propre corporalité. Il se fonde sur les observations de E.-H. Weber, d'après lesquelles la distance entre deux points est très-diversement sentie dans des régions diverses de la peau. D'après cela, il pose en principe que la peau estime la grandeur des objets en prenant pour unité leur distance appréciable. Soit x l'unité de mesure, la grandeur d'un pouce est $12\, x$ pour le doigt indicateur, et $1\, x$ pour un point de la région moyenne du bras. Car chaque partie de la peau donne à un objet touché autant de fois la grandeur x qu'elle contient de parties qui sont en état de distinguer x comme chose à part. D'après cette hypothèse, quand je me touche le milieu du bras avec le bout

du doigt, ce point devrait me paraître douze fois aussi grand avec le bout du doigt qu'avec la peau du bras. Volkmann applique ces vues à la rétine. Il admet aussi que, dans l'estimation des grandeurs, l'unité de mesure est la dernière distance visible. Cependant les phénomènes observés par Weber se prêtent à une autre explication; on peut les concevoir aussi par le mélange ou l'irradiation des sensations, qui fait qu'il se produit en quelque sorte des cercles de diffusion.

C. *Action du sens de la vue au dehors.*

Plusieurs physiologistes, comme Tortual, Volkmann, Bartels, attribuent au sens de la vue lui-même l'action au dehors, c'est-à-dire la faculté de rapporter hors de nous les objets que nous voyons, ou d'en constater l'extériorité. Mais qu'est-ce qui se trouve d'abord au dehors? Comme celui qui voit pour la première fois ne peut point encore distinguer l'image de son propre corps d'autres images, le placement hors de soi de ce qu'on a vu ne peut être autre chose qu'une distinction établie par le sujet entre lui-même et ce qu'il voit, une distinction entre le moi sentant et la chose sentie. La faculté d'apprécier l'extériorité des objets est une affaire du jugement, comme je l'ai établi dans l'introduction à la physiologie des sens. On dit que le nouveau-né place de suite les objets de la vue hors de son corps et de son œil; mais le nouveau-né ne connaît ni son œil ni son corps sous la forme de sensations visuelles, et il a besoin que l'expérience lui apprenne laquelle des images qu'il voit est son propre corps. En conséquence, tout ce qu'il est permis de dire, c'est qu'il place ce qu'il sent hors du moi sentant, et c'est en ce sens seulement qu'il le reporte au dehors. Chez les animaux, cette réaction du sensorium vers l'extérieur est beaucoup plus sûre par le concours de l'instinct; car l'animal ne tarde pas à se traîner vers la mamelle de sa mère, de sorte qu'il doit y avoir, dans son sen-

sorium, un penchant inné à se porter par des mouvemens vers l'image qu'il aperçoit, et qui, par rapport au moi voyant, est extérieure, c'est-à-dire objet. Si le nouveau-né ne sait pas d'abord distinguer l'image de son propre corps de celle du monde extérieur, il ne tarde pas à s'apercevoir que certaines petites images reviennent presque constamment dans le champ visuel, et qu'elles se meuvent quand lui-même meut volontairement son corps : ce sont les images de son propre corps. Toutes les autres changent indépendamment de son corps, ou leurs changemens ne correspondent point à ceux de son individu : celles-là sont les images du monde extérieur, qu'il admet désormais comme existant hors de lui dans l'espace, et qui se répètent de jour en jour dans le champ visuel de la représentation, dont l'origine remonte à cette époque. Le nouveau-né ne sait rien de l'œil en tant qu'il voit. L'individu qui voit a, généralement parlant, peu d'occasions de reconnaître que c'est dans l'œil qu'il voit. Les cas où il éprouve une sensation dans l'œil, sans apercevoir rien de déterminé à l'extérieur, sont les seuls qui lui permettent de remarquer que l'œil est le théâtre de ces effets; tels sont ceux de la sensation d'obscurité qu'il éprouve en fermant les yeux, et de la sensation que la clarté lui procure en agissant à travers ses paupières abaissées.

D. *Images de son propre corps dans le champ visuel.*

Certaines régions de notre corps font preque toujours partie du champ visuel de l'œil, et par conséquent aussi des représentations du sens de la vue. Lorsque nous voyons d'un seul œil, l'un des côtés du champ visuel est occupé par le côté visible du nez; si nous abaissons les sourcils, ils occupent la partie supérieure de ce champ; si nous élevons les joues, nous en voyons une partie au bas du champ visuel; enfin, si nous contractons le côté extérieur du muscle orbiculaire des paupières, la partie externe du champ est limitée par une

ombre qui provient des alentours de l'œil. Des images de parties de notre corps peuvent donc apparaître dans toute la périphérie du champ visuel, et alors les images des objets extérieurs se trouvent placées entre celles de notre propre corps. Lorsque nous fixons d'un seul œil le bout de notre nez, l'image du nez s'avance d'un des côtés du champ visuel jusque dans le milieu; si nous le fixons des deux yeux à la fois, l'image se trouve au milieu de la partie inférieure du champ visuel, appartenant aux deux yeux en même temps, tandis que les images des côtés du nez se perdent en partie, l'un des yeux voyant des objets extérieurs à l'endroit où l'autre aperçoit une image confuse du nez. Si l'on tourné l'œil davantage en dehors, on voit paraître à la partie inférieure du champ visuel non plus seulement le nez, les joues et les lèvres, mais encore le tronc et les extrémités. Ainsi, quelque situation que prenne l'œil, il découvre toujours une portion de notre corps, qui occupe un emplacement déterminé à la périphérie du champ visuel, en haut, en bas, à droite ou à gauche, et l'image des parties de notre corps fait partie intégrante de la plupart des sensations et représentations dont nous sommes redevables au sens de la vue.

Quoique les images de notre corps ne soient non plus représentées que sur le champ visuel de la rétine, d'où elles sont transmises au sensorium, cependant celui-ci leur attribue le caractère de l'objectivité ou de l'extériorité avec la même certitude qu'aux images des objets extérieurs. Rigoureusement parlant, l'image de notre main que nous voyons n'est pas la main elle-même, mais seulement son apparence. Nous cherchons à saisir un corps, et tandis que nous le faisons, la même chose arrive dans l'image du champ visuel de la rétine; nous voyons que nous saisissons, parce que l'apparence de notre main saisit l'apparence de l'objet. Nous sommes aussi informés du même acte par un autre sens, par le toucher de la main et par ses mouvemens. Ce qui semble singulier, c'est

que, quoique le toucher et la vue des parties de notre corps s'exécutent en des points tout-à-fait différens, jamais cependant il n'y a contradiction entre les deux sortes de sensation. C'est aussi par l'intermède de l'imagination qu'a lieu l'harmonie qui règne entre elles et leur réunion. Nous pouvons nous convaincre que les choses se passent réellement ainsi, d'après un cas où la différence de lieu est plus frappante encore, bien que l'imagination n'en lie pas moins intimement les deux sensations l'une à l'autre : quand nous voyons l'image de notre corps et ses mouvemens dans une glace, que nos mains remuent, et que nous en sommes informés à la fois par le toucher et par l'image dans la glace, l'imagination parvient à ne faire qu'une seule et même chose de ce que nous touchons et de ce que nous voyons, bien que le lieu soit totalement différent.

E. *Vue renversée et vue droite.*

D'après les lois de l'optique, les images se représentent, sur la rétine, renversées par rapport aux objets. Ce qui est en haut dans ceux-ci nous paraît en bas dans l'image, etc., la position relative des parties de celle-ci restant d'ailleurs la même. Mais voit-on réellement les images renversées comme elles le sont, ou bien les voit-on droites, comme les objets? Les images et les particules affectées de la rétine ne faisant qu'un, la question, traduite en langage physiologique, est celle-ci : lorsque nous voyons, les particules de la rétine sont-elles senties par nous dans leur relation naturelle avec le corps?

Mon opinion, que j'ai publiée et développée dès 1826, est que, quoique nous voyions les objets renversés, nous ne pouvons jamais en acquérir la conscience que par des recherches d'optique, et que, voyant tout de la même manière, l'ordre des objets ne s'en trouve nullement altéré. Il en est ici comme du renversement quotidien des objets avec la terre entière,

dont on ne s'aperçoit qu'en observant la situation des astres, et cependant rien de plus certain que, dans l'espace de vingt-quatre heures, une chose qui était en bas par rapport aux astres, finit par se trouver en haut. Voilà pourquoi il n'y a point, dans l'acte de la vision, défaut d'harmonie entre la vue et le toucher, qui aperçoivent les objets, la première renversés et l'autre droits : car nous voyons tout à l'envers, même les parties de notre corps, et chaque chose conserve sa position relative. L'image de notre main qui palpe se renverse aussi. Nous appelons les objets droits, parce que nous les voyons tels. On a déjà quelque peine à remarquer la simple inversion des côtés dans la glace, où la main droite occupe la gauche de l'image, et nos sentimens tactiles, quand nous réglons nos mouvemens d'après l'image de la glace, contredisent fort peu ce que nous voyons, par exemple lorsque nous faisons un nœud à notre cravate dans un miroir. Cependant il y a bien là un peu de contradiction, parce que le renversement porte sur les côtés seulement, et que tout n'est pas renversé.

Volkmann a embrassé la même opinion que moi. Il soutient aussi que nous n'avons pas besoin d'une explication de la vision droite tant que nous voyons tout renversé, et non pas uniquement un objet parmi d'autres. Rien ne peut être renversé, dit-il, quand rien n'est droit : car les deux idées n'existent que par opposition.

L'hypothèse qui attribue la vision droite à ce que nous voyons, non pas l'image de la rétine, mais la direction des rayons lumineux, renferme quelque chose d'impossible puisqu'il n'y a point de direction déterminée des rayons lumineux, mais qu'à chaque point correspond un cône entier de lumière, et qu'il ne nous est jamais possible de sentir autre chose que l'état des particules de notre rétine. L'hypothèse de ceux qui prétendent que la rétine agit en dehors et qu'elle y reporte les objets en sens croisé, par exemple suivant la direction de la perpendiculaire à la rétine (Bartels), est aussi purement

arbitraire; car il n'y a pas même moyen d'entrevoir pourquoi une direction aurait la prééminence sur l'autre, et chaque particule de la rétine, si elle avait le pouvoir d'agir en dehors, devrait le faire en tout autant de directions qu'il y aurait possibilité de tirer des rayons d'elle au monde extérieur. Comme nous ne nous apercevons jamais que nous voyons à l'envers, il n'est pas probable non plus que la nature ait placé dans le cerveau ou quelque part ailleurs un moyen de corriger une erreur dont nous ne parvenons à nous instruire qu'en étudiant les lois de l'optique. On ne saurait alléguer ici la décussation des nerfs optiques, puisque l'entrecroisement n'est que partiel.

S'il était possible qu'une image d'un objet se produisît sur la rétine sans le concours de la lumière, par exemple au moyen du contact immédiat, alors cette image ne serait pas renversée; et s'il était possible de voir un même objet d'abord par la lumière extérieure, puis par son application immédiate à la rétine, les images produites de ces deux manières seraient en sens inverse l'une de l'autre. On parvient à réaliser cette hypothèse dans certaines expériences. Que, par exemple, on comprime la rétine avec le doigt, à travers la sclérotique, on obtient une figure déterminée immédiatement par ce doigt. Mais on peut en même temps voir le doigt par l'intermédiaire de la lumière extérieure. Or les deux images sont situées sur des côtés opposés. Quand, les yeux étant fermés, on comprime avec le doigt la partie supérieure de l'œil, l'image se montre en bas; elle apparaît en haut, à droite, à gauche, si l'on opère de même sur les parties inférieure, gauche et droite.

F. *Direction de la vue.*

Avant de quitter ce point de doctrine, il nous reste encore à examiner ce que quelques physiologistes appellent la direction de la vue. Des objets qui projettent leurs images sur la

même particule de la rétine, sont situés dans la même direction, quant à la vue. Il y a, par rapport aux causes qui déterminent la direction de la vue, deux hypothèses possibles, mais dont une seule semble juste.

1° La direction suivant laquelle on voit quelque chose, dépend uniquement de la particule affectée de la rétine, de la distance à laquelle cette particule se trouve du centre de la membrane, de la direction qu'elle affecte par rapport à lui, ou, en d'autres termes, de la place qu'elle occupe dans la mosaïque entière de la rétine. Alors même que l'imagination agit au dehors, et y projette les affections de la rétine, la relation des petites images demeure la même, et la représentation visuelle peut être considérée jusqu'à un certain point comme un déplacement en avant du champ visuel entier de la membrane, déplacement qui n'en altère nullement les côtés, ce qui apparaît en haut étant représenté en haut, et ce qui apparaît en bas l'étant en bas. Supposons, par exemple, que *d b a c e fig.* 36, soient la rétine, et *d' b' a' c' e'* la projection au dehors des images de la représentation; *a'* serait la projection de *a*, *b'* celle de *b*, *c'* celle de *c*, etc.; *b'* se trouve, dans la représentation, du même côté que *b* dans l'image de la rétine, *c'* du même côté que *c*, et ainsi de suite pour les autres points correspondans. De sorte qu'en

Fig. 36.

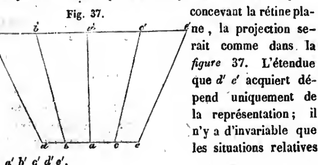


Fig. 37.

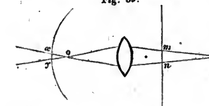
concevant la rétine plane, la projection serait comme dans la *figure* 37. L'étendue que *d' e'* acquiert dépend uniquement de la représentation; il n'y a d'invariable que les situations relatives de *a' b' c' d' e'*.


Fig. 38.

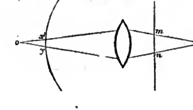
2° Les projections des images se croisent, de manière que *a* de l'image de la rétine est projeté du côté opposé dans la représentation, ou va dans la direction *a a'*, *fig*. 38.

Cette seconde hypothèse est susceptible de varier beaucoup, suivant la situation du point d'entrecroisement qu'on admet pour les directions.

a. Les uns croient qu'on aperçoit la direction de la lumière, que par conséquent on voit dans la direction de la lumière elle-même. Cette opinion est exposée, chose assez remarquable, jusque dans quelques manuels de physique. Porterfield avait déjà démontré qu'elle est insoutenable; Volkmann l'a combattue également. Dans la vision ordinaire, chaque point de l'image sur la rétine est déterminé par le sommet d'un cône lumineux ayant pour base la largeur de la rétine. Lequel de ces rayons du cône doit déterminer la direction? Serait-ce le rayon parallèle à l'axe? Mais les rayons périphériques suffisent aussi, quand on les isole en regardant


Fig. 39.

à travers le trou d'une carte. Si le point *a* est assez distant de l'œil pour que les rayons se réunissent en *a* avant de parvenir à la rétine, et qu'on place une carte percée de deux trous en *m n*, il se projette en *x y* deux images des faisceaux lumineux qui passent à travers ces


Fig. 40.

trous. Qu'au contraire *a* soit trop rapproché de l'œil, en sorte que l'image tombe derrière la rétine, et qu'il y ait deux trous de carte en *m n*,

les rayons périphériques du cône lumineux qui passent par ces trous projettent deux images, savoir $x'y'$. A une distance déterminée du point radieux a, la distance x' et y' de la seconde figure peut être aussi considérable que celle x et y de la première, et alors les images paraissent au même endroit; cependant la direction des faisceaux lumineux $x\ o$ de la première figure et $o\ x'$ de la seconde est totalement différente.

b. Porterfield et Bartels supposent que chaque point de la rétine voit dans la direction d'une ligne perpendiculaire à la rétine ou à sa tangente. Cette hypothèse est purement arbitraire.

c. Suivant Volkmann, la direction de la sensation dépend de la situation du point sentant par rapport au point d'entrecroisement des rayons visuels, qui, d'après ses observations, se trouve sur la même ligne que la petite image de la rétine et l'objet. Il ajoute que c'est la conséquence d'une loi innée et qu'on ne doit pas chercher à expliquer. Certes, il y a, physicalement parlant, le plus parfait rapport entre les objets et les images de la rétine, et c'est par le point d'entrecroisement que passent les lignes tirées des uns aux autres. Cependant je ne pense pas qu'il y ait, dans l'activité du nerf optique, une action au dehors suivant une direction déterminée et exclusive. Volkmann suppose un rapport inné et inexplicable entre les particules de la rétine et un point d'entrecroisement derrière le cristallin. Il n'y a pas nécessité, dans la première hypothèse, d'admettre rien qui se refuse à explica-sition. La direction de chaque image est déterminée par sa situation sur la rétine et par la situation de ce point eu égard à la membrane entière, et les objets se projettent dans le même ordre, mais sans croisement, dans la représentation. La projection ne peut pas dépendre d'une simple inflexion ou courbure de la rétine; elle doit, suivant moi, tenir à l'ordre des particules de cette membrane par rapport les unes aux autres.

Toutes les explications de la direction de la vue, d'après le

principe de la seconde théorie, sont affectées d'un vice commun. La vue des deux yeux à la fois les contredit toutes. Si la direction de la vue dépend d'une action de la rétine dans une direction quelconque, déterminée de dedans en dehors, soit dans la direction du point autour duquel l'œil tourne sur lui-même, soit dans une direction perpendiculaire à la rétine, il y a impossibilité de comprendre comment on voit les objets simples avec les deux yeux. Car l'œil A *fig.* 41 verra dans la direction *a c e* l'image du point *e*, située au milieu de la rétine, et l'œil B le verra dans la direction *b e d*. Ce point *e* est donc porté, par la théorie, en deux endroits tout-à-fait différens. On ne peut objecter que les centres des deux rétines sont toujours vus simples : car s'ils voient un objet au même endroit, ils ne peuvent pas le placer en dehors dans les directions *a c e* et *b c d* : autrement ils ne le verraient pas simple. Si, au contraire, la direction suivant laquelle on voit quelque chose dépend uniquement du rapport entre la particule affectée de la rétine et la rétine entière, *e* sera vu simple sur des points identiques *a* et *b* des deux membranes, et il occupera le milieu du champ visuel des deux yeux.

Fig. 41.

G. ***Jugement sur la forme, la grandeur, la distance et le mouvement des objets.***

Le jugement que nous portons, d'après la vue, sur la forme des corps, est la suite, en partie de la sensation, et en partie de représentations combinées.

Comme la forme des images dépend absolument de l'étendue des points affectés de la rétine, la simple sensation suffit pour nous faire distinguer les unes des autres des formes bor-

nées à de simples surfaces, par exemple un carré d'un cercle.

Molyneux demandait à Locke si un aveugle de naissance qui sait distinguer un cube d'une sphère par le toucher, saurait également établir cette distinction à l'aide du sens de la vue, en supposant qu'il le recouvrât tout à coup. On ne comprend pas comment ces deux philosophes ont pu se prononcer pour la négative. Car le toucher et la vue reposent sur les mêmes intuitions fondamentales de l'étendue de nos propres organes dans l'espace. Aussi l'animal qui vient de naître a-t-il sur-le-champ la sensation de la forme déterminée, lorsqu'il aperçoit la mamelle de sa mère, et cela seul prouve que la faculté de saisir des formes simples n'est pas le fruit de l'éducation. Mais celle de juger des différentes dimensions des corps d'après les images de la vue, exige de l'exercice, parce qne toutes les intuitions du sens de la vue ne sont originairement que des surfaces, et pour procurer la représentation d'un corps, le jugement doit ajouter les différentes faces qu'on aperçoit à ce corps, quand on lui donne une autre situation. L'opéré de Cheselden voyait tout à plat, parce que c'est effectivement ainsi que tout se représente. Mais, comme les images changent tandis que nous nous remuons dans l'espace, parce que nous passons en quelque sorte entre elles, il il résulte de là en nous la représentation de la profondeur du champ visuel, qui n'est qu'une simple idée, et non une sensation.

La grandeur apparente des objets dépend immédiatement de celle de la partie affectée de la rétine, ou de la grandeur de l'angle sous lequel ils apparaissent à l'œil. Pour juger de leur grandeur réelle d'après leur grosseur apparente, il faut combiner des idées déjà acquises de proche, de lointain, etc.

Juger de la proximité et de l'éloignement est l'affaire de l'esprit, et non de la sensation. Tout objet qui apparaît sous un angle plus petit que celui sous lequel on le voit dans un voisinage immédiat, est jugé éloigné. On juge plus éloigné celui

qu'un autre couvre en partie, ou qui paraît plus petit relativement qu'il ne devrait le sembler s'il était placé à la même distance que les autres objets. Ce jugement s'acquiert, et ce n'est point une faculté innée, du moins chez l'homme. Pour l'enfant, tout se trouve à la même distance; il cherche à saisir la lune aussi bien que le corps le plus rapproché de lui.

La plnpart des physiologistes prétendent que la situation des arcs des yeux qui est nécessaire pour fixer un objet, contribue anssi beaucoup à l'appréciation des distances, parce qne les axes des yeux convergent d'autant plus qu'un objet est plus rapproché. Cependant on s'exagère la valeur de ce moyen. Il peut sans doute avoir beauconp d'efficacité pour des objets qui sont placés en droite ligne devant les yeux, mais il la perd toute pour ceux qui sont situés de côté, et la chose est facile à démontrer. En effet, les objets latéraux exigent, pour qu'on puisse les fixer, une tout autre convergence des arcs des yenx que les objets placés en ligne droite, alors même que la distance est identique pour tous. Ainsi la convergence des axes des yeux est la même pour les points *a b c* fig. 42, et néanmoins *a* est fort éloigné des yeux, tandis que *c* en est très-rapproché. Les angles 4, 4′ et 5 sont égaux, si *a b c* est un cercle : car c'est une propriété du cercle que les triangles dirigés d'une corde commune vers la périphérie, ont des angles égaux à cette périphérie. Donc, de ce que les deux objets situés à côté les uns des autres ont la même parallaxe, nous ne concluons pas qu'ils sont placés à inégale distance, mais qu'ils sont situés dans le même cercle.

Fig. 42.

Le jugement que nous portons sur le mouvement des objets vus, dépend en partie du mouvement de l'image sur la ré-

tiné, et en partie de celui des yeux, qui suivent un corps quand il se meut.

Si l'image se meut sur la rétine, tandis que l'œil et notre corps demeurent en repos, nous jugeons que l'objet vu change de position par rapport à nous. Son mouvement peut cependant n'être qu'apparent, comme il arrive quand le corps sur lequel nous nous trouvons, un bateau par exemple, se meut. Si l'image reste en repos sur la rétine, si elle y demeure fixée au même point, et que les mouvemens des yeux suivent le corps mu, nous jugeons que celui-ci se meut d'après la sensation de mouvement que nous éprouvons dans nos muscles oculaires, ou d'après les courans qui leur sont envoyés par le sensorium. Lorsque l'image sur la rétine et les muscles des yeux se meuvent en même temps d'une manière correspondante, comme en lisant, nous jugeons que l'objet est tranquille, et nous savons qu'il n'y a que nous qui changeons de situation par rapport à lui. Quelquefois, il y a mouvement apparent des objets, bien que ceux-ci et les yeux soient tranquilles. Ainsi, après qu'on a tourné sur soi-même, on les voit tourner à leur tour, mais en sens inverse. Purkinje a fait, sur ces phénomènes, des observations remarquables qui semblent prouver qu'ils dépendent d'une impulsion au mouvement en un certain sens imprimée au cerveau. Car la direction de la rotation reste le même, par rapport à la tête, qu'elle était primitivement, quoiqu'on détourne la tête en cessant de tourner. Ainsi, a-t-on tourné la tête droite, si l'on s'arrête tout à coup, les objets tournent horizontalement ; puis si l'on incline l'axe de la tête sur le côté, ce n'est plus autour d'une ligne perpendiculaire au sol que les objets tournent, mais autour d'un axe incliné de la tête, c'est-à-dire que le mouvement circulaire s'exécute obliquement de bas en haut. Le même phénomène a lieu lorsqu'on tourne horizontalement sur soi-même, la tête penchée de côté, et qu'en s'arrêtant brusquement on redresse la tête. Il ne faut pas confondre avec ces mouvemens appa-

rens, d'autres qui dépendent d'images consécutives, et dont nous aurons à traiter plus loin : rien de commun ne les rapproche, et ceux qui sont dûs au tournoiement peuvent avoir également lieu après qu'on a tourné sur soi-même en fermant les yeux.

H. *Effets de l'attention dans la vision.*

L'âme peut consacrer plus ou moins ou entièrement son attention à un sens ou à l'autre. Lorsqu'elle est exclusivement occupée de l'un, elle perçoit peu ou point les effets des autres. Sous ce rapport, le sens de la vue participe au sort commun; l'âme ne reçoit aucune influence de sa part lorsqu'elle est plongée dans de profondes contemplations. L'homme qui médite ne voit souvent rien, malgré la fixité de ses regards, parce que les effets des fibres nerveuses ne sont point en état d'exciter le sensorium livré à d'autres occupations, et qu'ils se perdent dans le cerveau sans émouvoir l'attention. L'attention est donc nécessaire pour que nous voyions. Mais elle analyse aussi ce qui se passe dans le champ visuel. Tout n'est pas saisi avec la même netteté par le champ visuel entier de la rétine; c'est tantôt telle chose et tantôt telle autre qui frappe davantage. Une figure mathématique complexe se trouve saisie par nous de différentes manières, suivant que nous consacrons notre attention à telle ou telle de ses parties. Ainsi, dans la figure ci-contre, c'est tantôt l'ensemble que nous saisissons le mieux, et tantôt les détails, les six triangles de la périphérie, l'hexagone médian, ou les deux grands triangles. Plus une figure est complexe, plus elle présente de variations au jeu de l'attention. Voilà pourquoi les ornemens de l'architecture sont pourvus à nos yeux d'une sorte d'animation, parce qu'ils créent sans cesse de nouveaux matériaux à la vie de notre activité représentative.

Fig. 43.

II. Effets consécutifs des impressions visuelles, ou images consécutives.

La durée des impressions sur la rétine est beaucoup plus longue que celle de l'action de la lumière. D'après Plateau, la sensation dure 0,32 à 0,35 seconde au-delà de cette action, et la durée de l'impression consécutive croît en raison directe de celle de l'impression première. Aussi peut-on conserver très-long-temps dans l'œil l'image consécutive d'un objet éclairé, par exemple des carreaux d'une fenêtre, après qu'on les a fixés pendant un assez long temps de suite. La durée de ces images peut également être prolongée de beaucoup, en faisant aller et venir la main devant les yeux fermés, de manière que ceux-ci soient alternativement plongés dans l'ombre et frappés de la lumière du jour. Cette persistance explique le phénomène du cercle de feu qu'on aperçoit quand on tourne une lumière en rond devant les yeux; elle rend aussi raison du mélange des couleurs d'un disque coloré tournant, et de l'impossibilité de distinguer les uns des autres les rais d'une roue qui marche avec rapidité. Lorsque l'illumination n'est que momentanée, par exemple dans le cas d'éclair ou d'étincelle électrique, la confusion des images n'a point lieu, et l'on parvient même à distinguer les vibrations d'une corde.

Quand on contemple pendant fort long-temps un corps dont les parties se meuvent à la suite les unes des autres, les images consécutives conservent aussi une apparence de mouvement dans la même direction, parce qu'elles s'effacent successivement. C'est ainsi, à mon avis, que s'expliquent certains mouvemens apparens. Si l'un a tenu ses regards fixés pendant long-temps sur les ondes d'une eau courante, et qu'on les reporte tout à coup sur le sol, celui-ci semble se mouvoir, mais en sens inverse du courant. J'ai souvent remarqué ce phénomène en regardant de ma fenêtre la rivière

couler, et détournant ensuite mes yeux vers le pavé. Je l'ai observé aussi sur mer, en regardant tout à coup le pont du bâtiment après avoir fixé long-temps les flots passant le long de ses flancs. Si l'on admet qu'il y avait encore dans mon œil des images consécutives de vagues, qui disparaissaient les unes après les autres, en suivant le même ordre que celui de leur formation par l'effet du mouvement, le passage des images les unes au devant des autres, quand les yeux sont reportés sur le sol, doit produire l'apparence d'un mouvement de ce dernier en sens opposé.

En considérant les images consécutives sous le point de vue de leurs qualités, on peut les rapporter à trois classes : ce sont ou des images consécutives incolores d'images dépourvues elles mêmes de couleur, ou des images consécutives colorées d'images incolores, ou des images consécutives colorées d'images également colorées.

A. *Images consécutives incolores après des images objectives incolores.*

Les images consécutives pures d'objets blancs ou brillans sont aussi brillantes ou blanches; celles d'objets obscurs sont également obscures. Ainsi l'image consécutive d'une lumière mue avec rapidité est lumineuse. Lorsque, après une vive sensation, l'œil rentre soudainement en repos par la clôture des paupières, et qu'on le détourne de la clarté, ou mieux encore qu'on le couvre, l'image consécutive est blanche et lumineuse, ou obscure et noire, suivant que l'objet qui a causé cette sensation était blanc, brillant, sombre ou noir. Si l'on fixe pendant long-temps les vitres et le châssis d'une croisée, puis qu'on ferme tout à coup les yeux, qu'on se détourne de la fenêtre, et qu'on couvre les yeux avec la main, de manière qu'il ne puisse plus y pénétrer de lumière, même à travers l'épaisseur des paupières, l'image consécutive du vitrage est claire et celle du châssis obscure.

L'éclairage des images peut néanmoins, en certaines circonstances, se renverser dans l'image consécutive, de telle sorte que ce qui était lumineux paraisse noir, et que ce qui était noir semble lumineux. Cette inversion a lieu toutes les fois que l'image consécutive d'un objet brillant a été vue sur un fond objectif clair, lorsqu'on ne ferme pas les yeux, et que, pour observer l'image consécutive, on fixe ses regards sur une paroi ou une feuille de papier blanche. De là vient qu'après avoir regardé le soleil, on aperçoit une tache noire ou grise sur un mur blanc, et une tache blanche sur un espace tout-à-fait obscur. De même, les images consécutives des vitres d'une croisée sont noires et celles du châssis blanches, lorsqu'en fermant les yeux on demeure tourné vers la fenêtre, de manière que la lumière agisse encore à travers les paupières fermées, et affecte doucement la rétine. L'explication de ce phénomène est facile. Le point de l'œil qui a vu de la clarté conserve encore de l'irritation, et celui qui a vu du noir est, au contraire, tranquille et beaucoup plus irritable. Si, dans cet état, on reporte l'œil sur une paroi blanche, la lumière de la paroi produit une impression bien plus faible sur les points irrités de la rétine que sur ceux qui étaient demeurés tranquilles et qui ont conservé plus d'irritabilité. De là vient que le point tranquille de cette membrane, qui avait vu du noir auparavant, aperçoit la paroi blanche beaucoup plus claire que le point qui avait vu de la lumière : de là aussi le renversement des images consécutives.

Des phénomènes analogues ont lieu même par l'effet d'un changement subit de la clarté et de l'obscurité dans le champ visuel tout entier. En sortant des ténèbres, la grande irritabilité de la rétine fait que nous voyons tout très-éclairé, et en passant d'un lieu éclairé dans un autre médiocrement obscur, nous ne distinguons d'abord rien, jusqu'à ce que la rétine se soit mise au repos, et son irritabilité en rapport avec le faible degré de clarté : alors on distingue bien les objets. Un lieu

éclairé nous le paraît toujours plus qu'il ne l'est réellement, lorsque nous sortons d'un endroit obscur, et même quand il se trouve placé à côté de choses obscures. Les mêmes phénomènes ont lieu aussi pour d'autres sens : le froid ne nous semble jamais plus sensible qu'après la chaleur, et il suffit d'une légère différence de température, dans un lieu qui, en tout autre temps, nous semblerait chaud, pour que nous y éprouvions du froid au sortir d'un autre très-échauffé. La clarté et l'obscurité, le froid et le chaud, sont donc de simples relations.

Du reste, à chaque mouvement de l'œil, les images consécutives changent d'emplacement, eu égard au corps entier, et, par des motifs faciles à concevoir, elles apparaissent toujours là où l'on tourne la rétine. Qu'on fixe pendant long-temps un carré noir sur un fond blanc, puis qu'on détourne un peu la vue sans que l'œil quitte entièrement le carré noir, une partie *a' c' d'* de l'image consécutive tombe sur la feuille blanche, et par conséquent forme comme une bordure plus claire à l'un des côtés de cette image. L'image objective et l'image consécutive se superposent l'une à l'autre dans une certaine étendue; une portion de l'image objective, *a, b d*, est devenue libre. La portion libre de l'image consécutive *a' c' d* paraît très-claire, la portion libre de l'objective *a b d* très-noire, et le point où ces deux images se superposent, gris, comme pour offrir en quelque sorte le terme moyen des deux états. Voici l'explication du phénomène : le point *a' c' d'* de la rétine qui avait du noir auparavant, voit le blanc plus clair, parce qu'il est tranquille ; de là la bordure claire *a' c' d'*. Le point de l'image où le carré objectif et le carré subjectif se superposent n'a pas changé. Le point devenu libre de l'image objective *a b d* semble plus noir qu'auparavant, parce que, le regard s'étant porté de côté, ce point tombe sur une partie de la ré-

Fig. 44.

tine qui avait vu auparavant le fond blanc, et qui par cela même est émoussée.

B. *Images consécutives colorées après des images objectives incolores.*

Quand la rétine a été affectée par une forte impression de clarté, telle que celle de la lumière du soleil même, l'image consécutive ne paraît pas seulement claire sur un fond noir, ou noire sur un fond clair, elle prend encore des couleurs subjectives, jusqu'à ce que la membrane soit entièrement revenue aux conditions ordinaires, et ces couleurs sont les états que la rétine parcourt depuis l'éblouissement jusqu'à son retour aux conditions normales. Dans l'image sombre du soleil sur un fond clair, les couleurs se succèdent, de la plus foncée à la plus claire, selon l'ordre suivant : noir, bleu, vert, jaune, blanc. Leur apparition commence sur le bord. Quand l'image consécutive est devenue blanche, on ne la distingue plus de la paroi blanche, c'est-à-dire que ce point de la rétine voit alors la paroi blanche de la même manière absolument que tous les autres points de la membrane qui n'ont pas été éblouis. Si l'œil se reporte du soleil dans l'obscurité, la succession des couleurs est du blanc au noir, des couleurs les plus claires aux plus sombres, blanc, jaune, orangé, rouge, violet, bleu et noir. Lorsque l'image consécutive a passé du blanc au noir, on ne la distingue plus du fond noir, c'est-à-dire que ce point de la rétine est redevenu aussi tranquille que tous ceux qui n'avaient point été irrités auparavant.

Ces phénomènes, qu'on ne saurait expliquer par des causes objectives, sont une nouvelle preuve que les couleurs ont leur cause intérieure dans les états de la rétine elle-même.

C. *Images consécutives colorées après des images objectives colorées.*

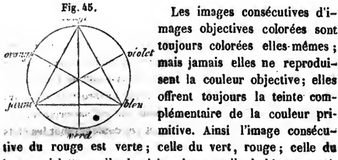


Fig. 45.

Les images consécutives d'images objectives colorées sont toujours colorées elles-mêmes ; mais jamais elles ne reproduisent la couleur objective; elles offrent toujours la teinte complémentaire de la couleur primitive. Ainsi l'image consécutive du rouge est verte ; celle du vert, rouge ; celle du jaune, violette ; celle du violet, jaune; celle du bleu, orangé; et celle de l'orangé, bleu.

Si l'on regarde pendant long-temps un champ d'un rouge vif sur un fond blanc, et qu'ensuite on détourne tout à coup le regard de côté sur le champ même, l'image consécutive du carré apparaît sous la même forme et les mêmes dimensions, mais verte. Si l'on ne détourne qu'un peu le regard, qu'on le fasse porter, par exemple, sur le côté de l'image objective, celle-ci et l'image consécutive se couvrent en partie, comme dans la figure 46; mais une partie de l'image objective R est libre, et une partie de l'image consécutive G l'est également ; or, cette dernière partie apparaît comme une bordure verte sur l'un des côtés de l'image objective. Là où les deux images se superposent, la couleur de l'image objective existe, mais tirant sur le gris, parce qu'en cet endroit, la rétine est plus émoussée pour le rouge par l'image consécutive verte, que ne l'est la portion libre de l'image objective R, reposant sur une partie de la rétine qui voyait le fond blanc avant qu'on détournât le regard.

Fig. 46. (G, R)

Ce phénomène peut être expliqué de deux manières, par les principes de la physique, et par ceux de la physiologie.

1° *Explication physique*. La lumière blanche renferme toutes les couleurs à la fois. Lorsque la rétine se détourne d'une image objective rouge, elle est émoussée pour la lumière rouge, mais susceptible encore de sentir les autres lumières colorées. La reporte-t-on ensuite sur une paroi blanche, son émoussement pour le rouge ne lui permet plus de sentir le rouge contenu dans la lumière de la paroi, mais ne l'empêche pas d'apercevoir les autres couleurs, c'est-à-dire la couleur complémentaire du rouge, ou le vert.

2° *Explication physiologique*. La vue d'une des trois couleurs principales n'est qu'un des trois états auxquels la rétine tend dans l'état d'irritation. Si l'art excite cet état, la rétine se trouve au maximum de tendance à la couleur complémentaire, qui par conséquent apparaît dans l'image consécutive.

Les deux explications sont, en général, satisfaisantes. La première semble même plus précise et plus vraisemblable : cependant les faits lui ôtent de sa probabilité. Car si la paroi blanche est la cause de l'image consécutive colorée, la couleur complémentaire ne doit plus apparaître sur un fond obscur. Or, l'image consécutive d'une couleur est toujours complémentaire dans ce cas, et elle demeure telle quand on regarde dans un espace totalement obscur.

Tous les hommes ne sont point également accessibles aux phénomènes des images consécutives colorées. Il s'en trouve auxquels on a de la peine à les montrer, tandis que d'autres les voient sur-le-champ. Mais, lorsqu'on les a une fois observées, on parvient à les faire renaître avec une grande facilité. La plupart des hommes connaissent peu les images consécutives, faute d'attention. Une fois cependant qu'on les connaît, on en est poursuivi souvent jusqu'à la fatigue. Ici se rangent les bordures claires des objets pendant le crépuscule, ce qui tient à ce que l'on aperçoit l'image consécutive sur l'un ou l'autre

bord. Telles sont aussi les apparentes lueurs qui entourent quelquefois les objets, et qui sont devenues un mystère pour certains hommes. Celui que la piété fait tomber en extase devant une image peut en voir l'image consécutive partout où il tourne ses regards.

III. Conflit entre les différentes parties de la rétine.

Quoique les particules de la rétine représentent invariablement chacune la place qu'elle occupe dans le champ visuel, cependant il y a entre elles un certain conflit en vertu duquel l'état de l'une influe sur celui de l'autre, et l'image qui se dessine sur l'une peut être modifiée par celle qui se peint sur l'autre. Un grand nombre de phénomènes qu'on a jusqu'ici considérés comme différens les uns des autres, peuvent être rangés sous cette rubrique commune, tels que la disparition des images, l'échange de leurs couleurs contre celle du fond, la manifestation de couleurs opposées en diverses circonstances, les ombres colorées, l'effet du clair sur la sensation de l'obscur, et *vice versâ*.

On peut rapporter ces phénomènes à deux classes. Dans l'une, l'état de la partie la plus grande de la rétine se communique à la plus petite. Dans l'autre, l'état de la partie la plus grande de cette membrane en détermine un opposé dans la plus petite.

A. *Communication des états entre les diverses parties de la rétine. Irradiation.*

Lorsque deux impressions opposées ont lieu à la fois dans une image, l'une influe sur l'autre en certaines circonstances. Si l'image représente à moitié l'un de ses états et à moitié aussi l'autre, l'action n'a point lieu ; car les deux moitiés se font pour ainsi dire équilibre l'une à l'autre. Mais si l'une des impressions n'occupe qu'une petite partie de la rétine, et q e l'autre occupe la plus grande partie de cette membrane,

il peut arriver, quand on contemple très-long-temps la première, qu'elle se répande sur la membrane entière, et fasse disparaître la petite image opposée, à la place de laquelle apparaît alors l'illumination du fond. Les parties latérales de la rétine, placées hors de l'axe, sont plus appropriées que son milieu à ces phénomènes; mais aucune n'en est exempte. C'est surtout à l'entrée du nerf optique qu'on les observe.

1. Disparition des objets visuels en dehors de l'entrée du nerf optique.

Que l'on fixe, jusqu'à ce que l'œil éprouve de la fatigue, un morceau de papier placé sur un fond blanc; tout à coup l'impression colorée disparaît entièrement pour un court espace de temps, et le fond blanc prend sa place, de manière que l'image colorée semble avoir été comme effacée de ce fond. C'est sur les parties latérales de la rétine que le phénomène réussit le plus facilement; cependant la partie moyenne de la membrane est susceptible aussi de l'offrir, comme on ne tarde pas à s'en convaincre par l'expérience.

Purkinje a décrit ces phénomènes. Ils prouvent que, quand l'impression dure long-temps, les particules de la rétine se communiquent réciproquement leurs états, et que leur activité est susceptible d'un certain degré, assez borné d'ailleurs, d'irradiation dans le sens de la largeur. Les images colorées sur un fond blanc sont celles qu'il faut choisir de préférence: une petite figure noire disparaît très-difficilement et fort tard sur un fond blanc, parce que la sensation d'une impression est plus vive, quand celle du contraire a lieu en même temps. Au reste, la disparition ne dure que quelques secondes, après quoi l'image objective redevient visible.

2. Disparition des objets visuels à l'entrée même du nerf optique.

La disparition des objets visuels à l'entrée du nerf optique, est connue depuis long-temps, et elle a été déconverte par Mariotte. Mais c'est une prérogative qui n'appartient pas à ce

point seul du nerf ; il le possède seulement à un plus haut degré que les autres. Si, d'un œil, on considère un point de manière qu'un objet placé de côté doive projetter son image sur l'entrée du nerf optique, l'image disparaît subitement, ou du moins très vite. Si, par exemple, on ferme l'œil gauche, et que de l'œil droit on fixe le point ci-contre • † à une distance de cinq pouces, la croix s'efface, et à sa place paraît la couleur du fond. La distance de l'objet à l'œil doit être environ cinq fois plus grande que celle de la croix au point. Ce qui prouve que le phénomène dépend de l'entrée du nerf optique, c'est que, quand on procède en sens inverse, c'est-à-dire qu'on fixe la croix, le point ne disparaît pas, ou du moins ne le fait pas plus vite que sur toute autre partie de la rétine.

On a conclu à tort de cette expérience que l'entrée du nerf optique est tout-à-fait insensible ; le nerf y sent réellement, mais il y sent la couleur du fond, ou l'impression qui prédomine soit dans le reste de la rétine, soit dans les portions les plus rapprochées de l'étendue cette membrane.

Il suit de ces phénomènes que les particules de la rétine sont susceptibles d'un certain degré de réaction les unes sur les autres. Mais cette réaction peut aussi s'exercer d'une tout autre manière, comme le prouveront les phénomènes décrits dans l'article suivant.

B. *Excitation d'états opposés dans des parties contiguës de la rétine.*

Dans les phénomènes qui viennent d'être décrits, l'impression dominante se propage en largeur, sans subir aucun changement, et fait taire l'impression moins étendue qui diffère d'elle. Dans ceux dont il nous reste à parler, l'une des impressions change l'autre de telle sorte que la seconde persiste, mais montre en même temps le contraire de la première. Les phénomènes mentionnés précédemment n'ont lieu que

peu à peu, et à la suite d'une contemplation prolongée des images; ceux dont il va être question arrivent instantanément et durent.

1. *Images claires et obscures qui deviennent plus prononcées par contraste.*

Un champ gris sur un fond blanc paraît plus obscur sur ce fond que quand on contemple une teinte de gris répandue uniformément sur le champ visuel entier. Une ombre tranche d'autant mieux, par contraste, que la lumière qui l'occasione est plus vive. Je citerai l'exemple suivant, pris parmi beaucoup d'autres. Qu'on éclaire un papier blanc avec une bougie, il produit l'impression du blanc; mais qu'on place une seconde bougie à quelque distance de la première, et qu'à l'aide d'un corps on fasse naître une ombre, celle-ci est grise, quoique le lieu qu'elle occupe soit tout aussi éclairé par la première bougie qu'il l'était auparavant. On voit paraître grise la place qui, avant l'approche de la seconde bougie, paraissait blanche. C'est la même raison qui rend une ombre bien plus foncée sur un champ blanc que quand on la contemple seule à travers un tube (1).

2. *Couleurs physiologiques par contraste.*

Si l'on considère un très-petit morceau de papier gris sur un grand champ éclairé, il paraît, non plus entièrement gris, mais offrant une légère teinte colorée, qui est le contraste de la couleur objective du champ. Ainsi par exemple, on le voit rougeâtre sur un fond vert, verdâtre sur un fond rouge, orangé sur un fond bleu clair, bleuâtre sur un fond orangé, jaunâtre sur un fond violet clair, et violet sur un fond jaune clair. Pour apercevoir ce phénomène, il est nécessaire que le fond coloré ait une couleur claire très-pure, qui renferme en

(1) Consultez, pour beaucoup d'autres phénomènes du même genre, l'ouvrage de Tortual, *die Erscheinung des Schattens*, Berlin, 1836.

même temps beaucoup de lumière blanche. Tous les papiers colorés ne conviennent point. Le phénomène n'est jamais plus sensible que quand on tient devant la lumière d'une lampe un verre couvert de papier mince, sur un point duquel se trouve fixé le petit morceau de papier gris. Celui-ci apparaît alors très-facilement avec la couleur qui fait contraste. Les contrastes physiologiques sont précisément ce que nous avons appris plus haut à connaître sous le nom de couleurs complémentaires. La couleur contrastante qui se manifeste donne toujours, avec la primitive, la somme des trois couleurs principales, bleu, rouge, jaune. Ainsi, par exemple, la couleur contrastante du jaune est le violet, qui contient du bleu et du rouge; ainsi le jaune et son contraste, pris ensemble, sont autant que du jaune, du bleu et du rouge, ou que toutes les couleurs réunies.

Les couleurs constrastantes étant purement subjectives, il suit de ces phénomènes que la couleur qui contraste est provoquée, comme état opposé de la rétine, par la couleur objective, et que les oppositions qui naissent dans cette membrane se font équilibre par conflit, ou réaction mutuelle. Ces phénomènes prouvent aussi que, sous le point de vue physiologique, les couleurs ne sont que des états déterminés de la rétine, qui peuvent s'appeler réciproquement dans les différentes parties de cette membrane. Une condition nécessaire pour la manifestation du contraste physiologique est un repos relatif à l'endroit où il doit éclater; or le repos relatif est le gris; aussi n'y a-t-il que le gris qui fasse apercevoir coloré le contraste d'une couleur objective. Une seconde condition tient à ce que la couleur objective soit très-claire.

Il paraît qu'on doit ranger également ici quelques phénomènes qui ont été observés par Smith, Brewster et moi. Lorsqu'on tient la flamme d'une bougie assez près de l'œil droit pour qu'elle ne puisse pas être aperçue de l'œil gauche, et qu'on dirige les deux yeux sur une bande de papier blanc,

en les plaçant de manière qu'ils la voient double, le papier paraît vert à l'œil droit, et rougeâtre à l'œil gauche. Cette remarque, que Smith a faite le premier, a été reprise par Brewster. Smith en concluait que la lumière agissant sur l'œil droit exerce réellement, en vertu du concours du cerveau, de l'influence sur la vue de l'œil gauche, que le vert et le rouge sont complémentaires l'un de l'autre, que la couleur verte dépend d'une diminution de la sensibilité de l'œil droit pour la couleur rouge, et la couleur rouge d'une exaltation correspondante de la sensibilité de l'œil gauche pour la lumière rouge. Brewster prétend, au contraire, que les couleurs tiennent à la nature de la lumière qui tombe sur la bande de papier, qu'elles ne sont point complémentaires, et que, quand on emploie de la lumière blanche pure, l'œil non excité voit le papier incolore. Il a tenté beaucoup d'expériences qui ne paraissent pas tirer la question à clair. On peut faire l'expérience avec un seul œil, en fermant l'autre. Si l'on contemple d'un seul œil la bande mince de papier posée sur un fond noir, pendant qu'une bougie l'éclaire de côté, elle paraît d'un blanc pâle. Si on la considère du même œil, tandis qu'elle se trouve dans l'ombre, on la voit d'un blanc jaunâtre. Qu'on la regarde alors de manière à ne l'apercevoir qu'indistinctement, c'est-à-dire en opérant dans l'œil les changemens nécessaires pour une autre distance, l'œil, s'il est en même temps éclairé, la voit verte, et s'il est dans l'ombre, l'aperçoit rougeâtre. Cette expérience démontre que la lumière rougeâtre de la bougie ne laisse paraître la bande de papier avec une teinte jaunâtre que quand le reste de l'œil n'est point affecté en même temps par la même lumière rougeâtre, c'est-à-dire quand il est dans l'ombre, qu'au contraire lorsque les autres parties de la rétine sont éclairées par de la lumière d'un jaune rougeâtre, un contraste physiologique se dessine entre le reste de cette membrane et sa partie qui voit la bande de papier, d'où il suit que celle-ci doit paraître plus pâle que

dans le premier cas, et offrir une teinte de verdâtre pâle, à cause du contraste avec les autres parties de la rétine qui reçoivent une lumière rouge jaunâtre. J'ai de la peine à concevoir pourquoi c'est précisément lorsque la vue est indistincte, que cette couleur verdâtre apparaît.

3. *Ombres colorées.*

Le phénomène des ombres colorées appartient à la même catégorie que les précédens. Cependant toutes les ombres colorées ne sont pas de cette espèce, et il y en a un certain nombre qui ne reconnaissent pour cause que l'éclairage d'une ombre par une lumière colorée.

a. Ombres colorées objectives.

Lorsque l'ombre d'un corps, produite par une lumière incolore ou colorée, se trouve éclairée elle-même par une autre lumière colorée, elle a tout naturellement une apparence de coloration. Pendant le crépuscule du soir, les ombres des corps paraissent bleues ou jaunes à la lumière artificielle, suivant qu'elles sont éclairées ou par la lumière bleuâtre du ciel, ou par celle de la bougie. En effet, le double éclairage donne lieu à deux ombres, de couleur diverse. Dans ces circonstances, l'une des deux ombres qu'une petite tige projette sur du papier blanc, est jaune, et l'autre bleue, parce qu'elles sont éclairées la première par la lumière artificielle, et la seconde par la lumière bleuâtre du ciel. Aucun des autres points du papier n'a de couleur prédominante, attendu que tous sont éclairés à la fois par les deux lumières. Pohlmann a démontré que ces ombres sont de nature entièrement objective (1).

b. Ombres colorées subjectives.

Si l'on fait tomber, soit à travers un verre de couleur, soit

(1) *Voy.* POGGENDORFF *Annalen*, t. XXXVIII, p. 219.

par reflexion, une lumière colorée sur une table blanche, et que, sur la surface qui paraît alors colorée, on fasse naître une ombre au moyen d'un corps grêle placé au devant de la lumière, puis, qu'on éclaire cette ombre avec la lumière blanche du jour, alors elle offre la teinte complémentaire de la couleur primitive, savoir : le vert pour la lumière rouge, le rouge pour la verte, le violet pour la jaune, le jaune pour la violette, l'orangé pour la bleue, et le bleu pour l'orangée. L'expérience réussit alors même qu'on se sert de la lumière artificielle pour éclairer l'ombre. L'illumination de celle-ci par de la lumière incolore est une condition nécessaire à la production du phénomène. Si l'on fait entrer un rayon de lumière colorée dans un espace obscur, et qu'on y détermine une ombre, celle-ci, comme l'a montré Grotthuss, n'est point colorée. Il faut donc le concours de la lumière blanche pour donner lieu au phénomène, soit parce qu'elle exerce de l'influence sur la lumière colorée, soit parce qu'elle provoque l'ombre colorée de la rétine. Quelques explications qu'on a données jadis du phénomène doivent être passées sous silence; la seule admissible ne peut reposer que sur un changement objectif, que sur des modifications réciproques de la lumière colorée et de la lumière blanche, ou sur les phénomènes physiologiques du contraste.

Munchow a essayé une explication qui se base sur des causes objectives. Elle a pour point de départ l'hypothèse que la lumière colorée possède, dans l'espace occupé par elle, la propriété de réduire à l'inaction la portion homogène à elle-même de la lumière incolore qui pénètre d'ailleurs dans cet espace, et de ne laisser percer que la lumière complémentaire. D'après cette hypothèse de Munchow, lorsque de la lumière bleue se rencontre avec de la lumière blanche, elle et la portion bleue de celle-ci se neutralisent réciproquement, de manière qu'il ne reste plus que la couleur complémentaire du bleu, ou l'orangé. Munchow, pour établir la possibilité

d'une action exercée mutuellement l'une sur l'autre par deux lumières provenant de côtés différens, invoque une expérience de Frauenhofer, d'après laquelle un rayon lumineux peut en détourner un autre de sa direction. Pohlmann a réfuté cette hypothèse par une expérience. La lumière colorée d'un disque en verre éclaire une surface blanche dans l'intérieur d'une caisse, et sur le disque se trouve une cordelette, dont l'ombre se projette sur le fond blanc; mais, au lieu d'éclairer l'ombre de la lumière colorée par la lumière du jour, il ne laisse parvenir cette dernière qu'à travers un tuyau dont l'extrémité plonge dans l'ombre. A la vérité, dans cette expérience, une certaine quantité de lumière colorée peut être projetée sur l'ombre par la réflexion des parois de la caisse, et produire le même effet sur la lumière du jour.

L'explication la plus ordinaire des ombres colorées est celle qui les attribue aux contrastes physiologiques, de manière que les couleurs complémentaires de l'ombre sont regardées comme étant purement subjectives. Cette théorie est adoptée par Rumford, Goethe, Grothuss, Brandes, Tortual, Pohlmann, et la plupart des physiciens.

On peut alléguer en sa faveur l'observation déjà faite par Rumford, que la couleur de l'ombre ne saurait être distinguée d'une ombre incolore lorsqu'on contemple l'ombre seule, sans le fond coloré, à travers un tuyau.

Les phénomènes dont il a été question dans l'article précédent la rendent très-vraisemblable. Là, en effet, il n'y avait aucun de ces élémens d'erreurs qui se présentent dans les ombres colorées. Un petit champ gris sur un fond vert blanchâtre clair a une teinte claire lorsque la couleur du vert renferme beaucoup de lumière; si le vert n'est point clair et blanchâtre, le spectre gris conserve son simple gris. Le procédé suivant peut être employé pour obtenir des couleurs claires : on tient immédiatement devant une lampe un verre vert sur lequel est collée une petite bande de papier qu'é-

claire une lumière incolore ; on a ainsi du rouge. De cette manière, le phénomène se trouve réduit aux plus simples conditions.

C. *Effet agréable des contrastes physiologiques. Principes physiologiques de l'harmonie des couleurs. Théorie de Gœthe.*

Les phénomènes dont il vient d'être donné la description prouvent que la rétine est mise par une seule couleur dans un état qu'on pourrait appeler unilatéral ou incomplet, et qu'elle tend d'elle-même à développer les contrastes qui complètent cet état. Nous ne devons donc point être surpris de ce que les associations de couleurs qui renferment déjà ces contrastes au complet font une impression agréable et salutaire sur l'œil et l'âme. En effet, toutes les couleurs complémentaires plaisent, et celles qui ne le sont pas choquent lorsqu'elles dominent. Dans ce sens, on peut dire que les premières sont harmoniques, et que les autres ne le sont point. Un assortiment de couleurs complémentaires est harmonique, et un assemblage de couleurs non complémentaires l'est d'autant moins, qu'il y a moins de rapport entre ces dernières. Un rouge ardent qui prédomine affecte aussi désagréablement la vue qu'un jaune ou qu'un bleu uniforme. Aussi l'instinct porte-t-il les hommes à adoucir ces couleurs, et à les rendre plus supportables, par l'addition du blanc ou du gris, toutes les fois qu'il y a nécessité de les étaler sur de larges surfaces. Par contre, le rouge le plus pur flatte à côté du vert, son complémentaire, le bleu auprès de l'orangé ou du jaune d'or, le jaune dans le voisinage du violet. Les femmes qui ont du goût adoucissent les couleurs de leurs vêtemens, qnand elles sont uniformes, en les choisissant d'une teinte foncée, ou si elles portent des couleurs pures, elles les associent harmoniquement, par exemple un châle rouge sur une robe verte, du lilas sur du jaune, du bleu avec de l'orangé. Quelle magnificence et quel éclat dans l'union du jaune d'or et du bleu,

dans la frange dorée qui borde une draperie bleue! Mais la mise d'une femme portant ensemble du jaune pur et du rouge, ou du jaune pur et du bleu, ou du rouge et du bleu, choque autant la vue qu'elle annonce peu de goût; ce n'est que dans les insignes des nations et les uniformes militaires qu'on voit de ces associations tranchantes.

Ce qu'il y a de plus choquant et de plus désagréable, c'est le rapprochemena de deux couleurs pures sans la complémentaire; par exemple, du jaune et du rouge, ou du bleu et du rouge, ou du jaune et du bleu. Il y a là défaut d'harmonie. L'association de deux couleurs, dont une fait passage à l'autre, n'est ni harmonique ni désharmonique, comme celle du jaune et du vert, ou du rouge et de l'orangé, ou du violet et du bleu. Un défaut d'harmonie peut disparaître par l'addition d'une troisième couleur qui soit harmonique avec l'une des deux autres, et indifférente quant à la seconde. Je citerai pour exemples le rouge, le vert et le jaune, le jaune, le violet et le rouge, le bleu, l'orangé et le rouge, le rouge, le vert et le bleu, etc. Le défaut d'harmonie entre le rouge et le jaune cesse en raison du vert, qui est harmonique avec le rouge, et indifférent quant au jaune.

Les peintres font, sciemment ou à leur insu, des applications fréquentes de ces principes physiologiques; car l'impression agréable des couleurs d'un tableau tient à l'habileté avec laquelle l'artiste a su rapprocher les harmonies et sauver les discordances. Ce principe est souvent poussé jusqu'à l'observation des ombres colorées. Un choix calculé de couleurs ternes et grises évite l'erreur des désharmonies, mais prive aussi du puissant charme des couleurs harmoniques. Runge a traité fort au long de ce sujet dans son ouvrage sur les couleurs.

IV. Action simultanée des deux yeux.

L'action simultanée des deux yeux donne lieu aux phénomènes de la vue simple avec deux organes dans certaines con-

ditions, à ceux de la vue double dans d'autres circonstances, et à ceux de la rivalité des champs optiques des deux yeux.

A. *Vue simple avec deux yeux.*

Quelques physiologistes ont pensé que le moyen le plus facile d'expliquer comment on voit les objets simples avec deux organes, consiste à admettre, avec Gall, qu'on ne voit pas avec les deux yeux à la fois, mais seulement tantôt avec l'un, tantôt avec l'autre. A la vérité, certaines personnes dont les deux yeux ont une portée fort inégale, sont dans l'habitude d'en employer un de préférence à l'autre; mais, chez la plupart des hommes, tous deux concourent ensemble à la vision du même objet, ce dont il est facile de se convaincre par les doubles images qui se produisent dans des conditions déterminées. De deux doigts placés l'un derrière l'autre, le premier paraît double lorsqu'on fixe le premier, qu'on aperçoit simple : l'une des deux images appartient à un œil, et l'autre à l'autre.

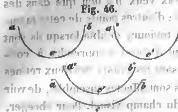
La vue simple avec les deux yeux n'a lieu que dans des points déterminés de la rétine ; d'autres points de cette membrane des deux yeux voient toujours double lorsqu'ils sont affectés simultanément. Il s'agit d'abord d'apprendre à connaître par l'expérience quels sont les points des deux rétines qui ont la propriété, quand ils sont affectés ensemble, de voir leur image au même endroit du champ visuel. Pour abréger, on peut donner à ces points l'épithète d'identiques. Voici comment on les reconnaît.

Si, après s'être placé dans l'obscurité, en tenant les yeux fermés, on comprime avec le doigt un point déterminé de son œil, et par conséquent de sa rétine, on aperçoit un cercle de feu dans le champ visuel; par des motifs qui ont été expliqués précédemment, le cercle correspondant au point comprimé, apparaît sur le côté opposé du champ visuel. Si l'on appuie un doigt sur la partie supérieure de l'un des yeux, et

un autre doigt sur la partie inférieure de l'autre œil, on voit deux cercles de feu, l'un supérieur, l'autre inférieur, qui appartiennent le premier à l'œil comprimé en bas, le second à l'œil comprimé en haut. Ces points des deux yeux ne sont donc pas identiques, puisqu'ils voient leurs affections dans des endroits tout-à-fait différens. Si l'on comprime le côté externe des deux yeux, il se produit aussi deux figures, dont chacune appartient au point comprimé qui lui est opposé. Si l'on comprime le côté interne des deux yeux, il apparaît également deux cercles de feu aux côtés externes du champ visuel; celui de droite appartient à l'œil gauche, et celui de gauche à l'œil droit. Ce qu'il y a de certain, c'est que ni la partie supérieure d'une rétine et l'inférieure de l'autre, ni les côtés externes ou internes des deux rétines ne sont identiques ensemble. Ils voient toujours leurs affections en des lieux différens, et la distance des lieux comporte souvent la largeur entière du champ visuel.

Au contraire, le côté externe d'un œil et le côté interne de l'autre, ou, dans la *figure* 46, *a* de l'œil A et *a'* de l'œil B, *b* de l'œil A et *b'* de l'œil B, sont identiques ensemble. Il y a, de plus, identité entre la partie supérieure d'un œil et la supérieure de l'autre, entre la partie inférieure de l'un et la partie inférieure de l'autre. Par exemple, si l'on appuie le doigt, dans l'obscurité, sur le bas des deux yeux fermés, il ne paraît qu'un seul cercle de feu en haut, dans le milieu du champ visuel; si l'on comprime les deux yeux en haut, on n'aperçoit qu'un seul cercle de feu en bas, dans le milieu du champ visuel. De même, quand on comprime le côté externe *a* de l'œil A, et le côté interne *a'* de l'œil B, ou, ce qui revient au même, le côté gauche des

Fig. 46.



deux yeux, il ne se montre qu'un seul cercle de feu, qui est placé à l'extrême droite. Comprime-t-on, au contraire, *b* d'un œil et *b'* de l'autre, ou le côté droit des deux yeux à la fois, il n'y a non plus qu'un seul cercle de feu, mais situé à l'extrême gauche. En un mot, on peut concevoir les sphères des deux rétines se couvrant, en quelque sorte, comme dans la figure précédente, de manière que la gauche de l'une soit identique avec celle de l'autre, la droite de l'une avec celle de l'autre, le haut de l'une avec celui de l'autre, et le bas de l'une avec celui de l'autre; *a* couvre *a'*, *b* couvre *b'*, *c* couvre *c'*.

Les points situés entre *a* et *c* dans un œil, ne sont pas identiques avec les points correspondans placés entre *a'* et *c'* de l'autre, ni les points intermédiaires *b* et *c* de l'un avec ceux qui leur correspondent dans l'autre. Car si l'on traîne les doigts sur les deux yeux à partir des mêmes points, si, par exemple, on comprime uniformément les deux yeux en allant du côté gauche vers le haut, la figure produite demeure toujours simple, et l'on peut tourner ainsi en cercle sans cesser d'apercevoir cette figure simple; mais, dès que le doigt qui exerce la compression s'éloigne de ces points identiques des deux yeux, sur-le-champ il apparaît des images doubles.

Ces expériences procurent déjà la conviction que ce qui se trouve dans des points parfaitement correspondans, est identique aussi. Or les points parfaitement correspondans sur la coupe de la sphère de la rétine, sont ceux qui occupent le même méridien et le même parallèle, en considérant le milieu de la membrane comme pôle, ou ce qui se trouve, dans une même direction, à une même distance du milieu de la rétine. Tous les autres points des deux membranes sont différens; viennent-ils à être affectés, les choses se passent comme si des points différens d'un même œil l'avaient été, et les images doubles de l'œil A et de l'œil B sont aussi éloignées l'une de l'autre que l'image de l'œil A l'est du point de l'œil B avec lequel le point de la double image dans l'œil B est identique.

Ou, pour en revenir à la figure précédente, lorsque a d'un œil se trouve affecté, que b' l'est dans l'autre, comme il y a identité entre a et a', de même qu'entre b et b', la distance entre les doubles images a et b' est précisément égale à celle entre a et b dans l'un des yeux, ou à celle entre a' et b' dans l'autre; car les choses se passent exactement comme si les points a et b du seul œil A étaient affectés.

L'application aux phénomènes objectifs de vision ressort maintenant de soi-même. Si les yeux sont tellement placés par rapport à l'objet radieux, que des images semblables du même objet tombent sur des parties identiques des deux rétines, l'objet ne peut être vu que simple; mais, dans tout autre cas, il doit y avoir des images doubles. Or, la position des deux yeux, eu égard à l'objet, dans laquelle des points identiques de ces deux organes reçoivent de lui une image, est celle dans laquelle les axes des deux yeux se rencontrent sur un même point de l'objet, comme il arrive toujours quand on fixe celui-ci.

Que les axes des yeux A et B soient dirigés de manière à se concentrer en a, alors a sera vu simple au même endroit, dans le milieu du champ visuel, parce qu'il y a identité entre a d'un œil et a' de l'autre. Mais d'autres objets situés sur le côté de a, par exemple β et γ, peuvent également apparaître simples. Que β soit placé de telle sorte que son image dans les deux yeux tombe à une égale distance du milieu de la rétine, savoir, en b de l'un des yeux et en b' de l'autre, il paraît simple sur des points identiques des deux rétines. La

Fig. 47.

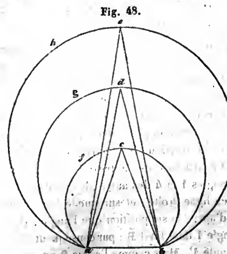
même chose a lieu pour γ, si la distance de c à a dans l'œil A est égale à celle de c' à a' dans l'œil B.

Une ligne ou un plan qui passe par le point de convergence des deux axes oculaires, ou par le point de fixation, avait reçu des anciens le nom de *horoptre*, et l'on se figurait que les objets situés sur le côté de l'horoptre étaient inégalement simples. Une analyse plus rigoureuse démontre cependant que l'horoptre n'est ni une ligne droite ni un plan, mais qu'il représente une surface circulaire. La question est effectivement de savoir si, abc d'un œil étant égal à $a'b'c'$ de l'autre œil, ou les angles 1 et 4 d'un œil aux angles 1 et 4 de l'autre, les points α, 6, γ peuvent être situés en ligne droite, et sur quelle ligne ils se trouvent. $ab = a'b'$, d'après la supposition que l'angle 1 dans l'œil A est égal à l'angle 1 dans l'œil B : par conséquent, l'angle 1′ est égal à l'angle 1′. Mais comme l'angle 2 est égal à l'angle 2, l'angle 3 doit être égal à l'angle 3. On prouve de même que l'angle 5 en γ est égal à l'angle 3, car $bc = b'c'$, c'est-à-dire qu'il y a égalité entre les angles 4 et 4. Mais si les angles 3, 3, 5 sont égaux, α 6 γ ne peuvent être une ligne droite, car il n'y a que le cercle qui ait pour propriété que les triangles élevés d'une de ses cordes à la périphérie aient des angles égaux à cette périphérie (1).

L'horoptre est donc toujours un cercle, dont la corde est la distance des deux yeux, ou plus exactement le point d'entrecroisement des rayons lumineux dans les deux yeux, et ce cercle est déterminé par trois points, savoir, par les deux yeux et par le point de fixation des axes oculaires. Soit ab la

(1) La découverte de la vraie forme de l'horoptre m'a été attribuée par quelques physiologistes, et moi-même j'ai cru qu'elle m'appartenait jusqu'au moment où j'ai trouvé que Vieth avait déjà reconnu la nécessité de la forme circulaire de l'horoptre (Gilbert, *Annalen*, t. LVIII, p. 233).

Fig. 48.



distance des deux yeux, le cercle *f* est l'horoptre pour le point de convergence des axes oculaires en *c*; le cercle *g* est celui du point de convergence *d*; le cercle *h* pour le point de convergence *e*, etc.

La vue simple par des points identiques des deux rétines doit avoir sa cause dans l'organisation des parties profondes ou cérébrales de l'appareil visuel, et, dans tous les cas, une cause organique. Car jamais ce n'est une propriété de nerfs pairs, qu'ils rapportent leurs affections à un même lieu. Il est fort invraisemblable aussi que l'identité des points correspondans des rétines soit la conséquence d'une certaine habitude contractée, ou de l'imagination. La congruence des deux rétines en un même champ visuel, quelle qu'en puisse être la cause, est bien plutôt la source de toutes les idées qui naissent ultérieurement de la vue simple et de la vue double.

On a objecté contre la constante identité des points correspondans des deux rétines, que la vue double a lieu dans le vertige, dans l'ivresse, dans des maladies nerveuses, où l'harmonie des mouvemens des deux yeux ne semble cependant pas être troublée. Mais s'il doit se produire des images doubles dès qu'on ne fixe point un objet, où dès qu'il ne se trouve pas compris dans l'horoptre, ce phénomène n'est jamais plus naturel et plus nécessaire que dans le vertige, l'i-

vresse, et les fièvres nerveuses. Il n'est pas vrai non plus, comme l'ont prétendu Treviranus, Steinbuch, et d'autres avant eux, que l'identité des champs visuels soit acquise, et que si la vue double a lieu au commencement du strabisme, il se produise plus tard, en proportion du déplacement des yeux, une nouvelle identité des rétines, différente de la première, qui fait que, malgré le strabisme, la vue simple se trouve rétablie. Le strabisme est relatif. En vertu de la convergence des axes oculaires sur l'objet, la position de nos yeux pour apercevoir un corps très-rapproché, est celle d'une personne qui louche, si on la compare à celle que ces organes affectent pour fixer un corps éloigné. Lorsque les yeux se trouvent morbidement dirigés en dedans, on devrait voir simple ce qui est placé dans l'horoptre de cette situation, et l'on ne conçoit pas quelle est la distance pour laquelle il devrait alors se former une nouvelle identité des rétines, puisque l'œil qui ne louche point voit à toutes les distances. D'ailleurs les observations faites sur les personnes qui louchent, ne prouvent pas que le rapport originaire des points identiques des deux rétines soit détruit : elles attestent seulement que l'œil qui louche est, en général, inactif (1). Il arrive fort souvent au strabisme d'être associé à la presbytie ou à la myopie d'un des yeux. Le champ visuel de l'œil qui louche, ayant une tout autre portée, trouble peu ou point celui de l'œil sain. La même chose a lieu quand on regarde avec l'un des yeux dans le microscope et avec l'autre sur la table : le champ visuel de celui-ci trouble très-peu celui de l'autre, quoique placé au même endroit, parce que quand l'un des yeux s'accommode pour l'image du microscope, l'autre l'imite,

(1) Consultez sur le strabisme : Muller, *Physiologie des Gesichtssinnes*. Leipzick, 1826, p. 216. — Fischer, *Theorie des Schielens*, Ingolstadt, 1781. — P.-J. Roux, *Observation sur un strabisme divergent de l'œil droit*, Paris, 1814, in-8. — L.-J. Sanson, art. strabisme du *Dict. de méd. et de chirurgie pratiques*, t. XV, p. 37.

et en conséquence ne voit pas distinctement la table. J'ai tout récemment examiné une personne louche ; dans les conditions ordinaires de la production des images doubles, conditions sur lesquelles je reviendrai plus loin, il ne lui arrive jamais, quand plusieurs objets sont placés devant elle à diverses distances, d'en voir un double lorsqu'elle fixe les autres d'un seul œil.

La congruence des points identiques des deux rétines est donc innée, et elle ne change jamais. On peut comparer les deux yeux à deux tiges sortant d'une même racine dont chacune des particules est, en quelque sorte, fendue en deux branches pour ces deux organes.

Plusieurs expériences ont été faites dans la vue d'expliquer ce remarquable enchaînement.

1° Comme les racines des nerfs optiques des deux côtés se croisent par la partie interne de leurs fibres, qui va se rendre à l'œil opposé, tandis que l'externe marche vers celui qui lui correspond, que par conséquent le côté gauche des deux yeux reçoit des filets d'une même racine, et qu'au contraire, leur côté droit en reçoit de deux racines différentes, l'idée devait se présenter d'attribuer la vue simple à la distribution des racines des nerfs optiques dans les deux yeux. C'est là théorie de Newton et de Wollaston. Wollaston expliquait par-là un phénomène qu'il n'est pas très-rare d'observer, celui de l'hémiopie, dans laquelle tout un côté du champ visuel des deux yeux, jusqu'au centre de ceux-ci, demeure inactif; il croyait devoir l'attribuer à l'inaction de la portion cérébrale d'un nerf optique (1).

2° Cette théorie est insuffisante. Pour qu'elle expliquât complétement les phénomènes, il faudrait que chaque fibre d'une racine de nerf optique se partageât, dans le chiasma, en deux branches pour les points identiques des deux yeux, comme dans la figure ci-contre. Une théorie fondée sur le rap-

(1) *Annales de chimie*, 1824, septembre. — *Voy.* VATER, dans *Haller*, *Diss. med. pract.*, t. I.

Fig. 49.

port des fibres est seule capable de satisfaire; mais plusieurs variétés sont possibles à cet égard. Newton avait peut-être eu aussi une idée vague de la division dichotomique de chaque fibre. Tréviranus et Volkmann n'en ont aperçu aucune trace dans le chiasma, et je n'ai pas été plus heureux non plus. Il faudrait aussi, pour que la théorie fût juste, que la racine du nerf optique fût de moitié plus grêle que la portion oculaire du nerf. Ainsi nous sommes obligés de nous en tenir au simple fait, anciennement connu, que la racine d'un côté se divise en deux parties dans le chiasma, que la partie interne se croise avec celle du côté opposé, et que l'externe continue sa marche du même côté (1). C'est dans le Cheval que j'ai le mieux aperçu cette disposition.

Fig. 50.

3° Une autre théorie est celle de Rohault (2). Ce physicien suppose que chaque nerf optique contient exactement autant de fibres que l'autre, et que les fibres correspondantes des deux nerfs sont unies dans le même point du sensorium. Cette théorie n'a aucun égard au croisement partiel des fibres dans le chiasma.

4° Une quatrième théorie offre une modification ou une amélioration des deux précédentes, et fait entrer la structure du chiasma en ligne de compte. Les fibres *a* et *a'*, venant de points identiques des deux yeux, deviennent, dans le chiasma, partie intégrante de la racine du nerf optique d'un côté, et communiquent ensemble par une anse dans le cerveau, ou naissent du même point du sensorium, du même corpuscule ganglionnaire de l'encéphale. Il en est de même pour

Fig. 51.

(1) Consultez les figures que j'ai données du chiasma dans mon ouvrage *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes*, Leipzick, 1826.

(2) *Physique*, p. I, cap. 31.

les fibres identiques *b* et *b'*. L'image des deux moitiés gauches des yeux se représenterait dans la moitié gauche du cerveau, et celle des deux moitiés droites des yeux dans la moitié droite de l'organe cérébral.

5° Enfin on peut encore admettre une commissure transversale, sur la ligne médiane du cerveau, entre les fibres identiques des deux yeux.

Porterfield (1) prétend que la véritable cause qui fait qu'on ne voit pas les objets doubles avec les deux yeux, dépend uniquement de la faculté que nous avons, suivant lui, de voir les objets à l'endroit où ils sont. Mais cette hypothèse n'a pas de sens juste, et il est facile aussi de la renverser par l'expérience. Car si l'œil A voit l'objet *c* simple dans son axe, et si l'œil B en fait autant, parce qu'ils aperçoivent cet objet là où il se trouve placé, les deux yeux doivent aussi voir les objets *a* et *b* séparés, puisqu'ils les voient là où ils sont; mais quand ces objets sont situés dans les axes, ils apparaissent simples, et non séparés, au même endroit que *c*, parce que leur image tombe, dans les deux yeux, sur le point médian de la rétine. A la vérité, il se produit bien une double image de *a* dans l'œil B, au point *a'*, et une de *b* dans l'œil A, au point *b'*; mais les images des points *a* et *b*, qui tombent sur le milieu de la rétine des deux yeux, ne sont pas vus où ils sont; on les aperçoit réunis en un seul lieu. On ne peut pas dire non plus de *c* qu'il est vu simple, parce qu'on le voit là où il est. Voire une chose où elle est, signifie seulement la voir dans la direction qu'elle a par rapport à l'œil; or *c* est

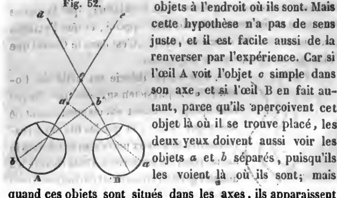


Fig. 52.

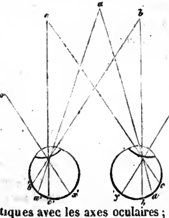
(1) *Loc. cit.*, t. II, p. 293.

vu dans la direction *c e* par l'œil A, et dans la direction *o d* par l'œil B ; donc, d'après cette théorie, on devrait l'apercevoir double, tandis que, par les motifs précédemment déduits, il est vu simple.

La cause pour laquelle nous voyons simple sur les points identiques des rétines, doit donc être organique. Plusieurs théories sont en état d'expliquer le phénomène par une structure organique supposée ; mais, parmi ces suppositions, il n'en est aucune dont on puisse démontrer la réalité, et il s'en trouve même à l'égard desquelles on peut prouver qu'elles manquent de tout fondement. Or il est facile, d'après cela, de voir quelle direction on doit donner à l'explication.

Chez les Mammifères, le rapport des parties identiques et des parties différentes des deux rétines ne saurait être le même que chez l'homme, puisque les yeux de ces animaux sont, la plupart du temps, divergens, et que leurs axes ne se réunissent jamais sur un même point d'un objet. Quand les Mammifères contemplent un objet situé devant eux, dans la direction de l'axe de leur corps, l'image tombe sur la partie externe

Fig. 53.



de chaque œil. Par exemple, l'image de *a* tombe en *a'* et en *a''* ; ces points doivent donc être identiques. En effet, un Chien meut ses yeux, comme nous le faisons, suivant qu'un objet placé devant lui, dans l'axe de son corps, est proche ou lointain. Mais les axes visuels de cet animal ne sont pas, comme chez nous, identiques avec les axes oculaires ; ils ne sont pas les lignes $x\ x'$ et $y\ y'$, mais les lignes $a\ a'$ et $a\ a''$. Pour que le Chien voie

clairement des objets situés devant lui et apercevables par ses deux yeux, et que des images doubles ne se produisent pas, il faut que b' dans un œil et b'' dans l'autre soient également identiques; car c'est sur ces points que tombe l'image de b. Toutes les parties de l'un des yeux qui ne reçoivent que la lumière d'objets latéraux ne sauraient au contraire avoir de points identiques correspondans dans l'autre œil : car autrement un objet placé à droite et un autre situé à gauche seraient vus au même endroit subjectif. Donc, tout porte à croire que, dans les yeux des animaux, il y a des points en partie identiques et en partie différens, sans points correspondans dans l'autre œil. Vient-on à superposer seulement les points des deux champs visuels de l'animal qui voient le même objet, la figure précédente donne celle qui est placée ci-contre.

Fig. 54.

B. *Vue double avec deux yeux.*

Toutes les fois qu'un objet ne se trouve pas placé dans l'horopter, son image tombe sur des points différens des deux yeux, et par conséquent il est vu double. La distance entre les deux images est toujours déterminée; 6 étant le lieu de l'image dans un œil, 4 celui de l'image dans l'autre œil, et 6 du premier œil étant identique avec 6 du second, la distance des deux images est constamment celle de 4 et 6, c'est-à-dire que son rapport au champ visuel entier est le même que celui de la distance entre 4 et 6 au diamètre entier du plan d'une rétine. Les expériences les plus simples pour observer les images doubles sont celles-ci. On tient deux doigts des mains alignés devant les yeux, le premier tout proche de ces organes, et l'autre à un certain éloignement. Si l'on fixe le premier, en dirigeant sur lui les axes des yeux, le second paraît double; si l'on fixe le second, c'est le premier qu'on voit double. Plus la distance entre les deux doigts est considérable,

plus celle entre les deux images devient grande ; plus les deux doigts sont rapprochés, plus les deux images du doigt qui paraît double sont voisines, jusqu'à ce qu'elles se confondent ensemble lorsque les deux doigts entrent dans le même horoptre.

Fig. 55.

Dans la figure 55, les axes des yeux sont dirigés vers le point *a*. Derrière *a* se trouve un objet *b*. *a* projette son image sur des parties identiques des deux yeux, savoir sur le milieu des deux rétines, en 5 ; le point est donc vu simple. *b* projette la sienne dans l'œil gauche en 6, et dans l'œil droit en 4 ; or 4 d'un œil et 6 de l'autre œil sont différens, car 4 est identique avec 4 de l'autre œil ; donc *b* est vu double, et la distance des images doubles par rapport au champ visuel entier, est comme celle de 4 et de 6 à la distance 1 — 10.

Fig. 56.

Si l'on suppose les surfaces des deux rétines placées l'une sur l'autre, comme dans la figure 56, ce qui vient d'être dit semble plus clair encore. Soit A la rétine de l'œil gauche de la figure précédente, et B celle de l'œil droit, 4 est la situation de la double image dans l'œil droit, et 6 sa situation dans l'œil gauche. Comme les deux champs superposés dans la figure sont un et le même dans la nature, on peut aussi convertir dans la figure 57 ci-contre, en faisant remarquer que la double image 6 appartient à l'œil gauche, et la double image 4, à l'œil droit.

Fig. 57.

Si les axes visuels se croisent au devant de l'objet *c*, en *a*, on voit aussi *c* double. Car *c* projette sa lumière, dans l'œil

gauche, sur 4, et dans l'œil droit, sur 6, 4 n'est point identique avec 6; mais 4 l'est avec 4, et 6 avec 6. La distance des deux images doubles est 4-5 dans l'œil gauche, et 5-6 dans l'œil droit, ou, en considérant les deux yeux comme un seul, elle est de 4-6, c'est-à-dire que le rapport de la distance 4-6 à la distance 1-10 est comme la distance des doubles images de *c* au champ visuel entier.

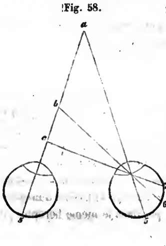
Quant à ce qui concerne la situation des doubles images par rapport aux yeux auxquels elles appartiennent, lorsque les axes optiques se croisent entre l'objet et l'œil, la double image gauche appartient à l'œil gauche, et la droite à l'œil droit. Si, au contraire, les axes optiques se croisent au devant de l'objet, la double image de l'œil droit se trouve au côté gauche opposé, et celle de l'œil gauche au côté droit, comme on peut aisément le reconnaître en fermant un des deux yeux.

Cette situation des doubles images est importante sous le rapport théorique. Au premier aperçu, la meilleure manière de concevoir la situation des images à l'égard des yeux dans lesquels elles existent, est de recourir à la théorie qui prétend que les objets sont vus dans la direction où ils se trouvent, et non d'après la situation des particules de la rétine. Ainsi, lorsque les axes des yeux se croisent au devant de l'objet *a*, l'objet *b* paraît double, et la double image est située à gauche pour l'axe de l'œil gauche, à droite pour l'axe de l'œil droit, ce qui arrive réellement ainsi quand on fait l'expérience. Les phénomènes de la vue double pourraient donc être regardés comme une preuve du rétablissement ou de la correction de la vue renversée, soit par la direction de la vue au dehors, soit par le cours des fibres du nerf optique dans le cerveau. Cependant les phénomènes s'expliquent également au moyen de la théorie opposée, celle que les images ou particules de la rétine sont vues là où elles sont, et non là où se trouvent les objets.

Dans l'expérience rapportée précédemment, la double image gauche est vue au côté gauche de l'axe médian; son objet serait donc à droite, d'après les principes de l'optique. Dans la sensation visuelle de la rétine elle-même, il n'y a ni œil droit ni œil gauche, ces deux organes étant identiques; mais, en tant que la lumière tombe de notre propre corps sur la rétine, et que par conséquent il y a aussi une image de notre corps sur cette membrane, il suit de là, d'après les principes de l'optique, que l'objet se trouve du côté opposé de l'image, par conséquent que la portion visible droite de notre corps est à gauche et la portion visible gauche à droite. Donc, le fait de l'expérience dans laquelle, quand les axes optiques se croisent derrière l'objet, la double image gauche disparaît dès qu'on ferme l'œil gauche, peut être exprimé de la manière suivante : lorsque nous fermons l'œil du côté gauche en apparence ou droit en réalité, la double image gauche disparaît, et c'est ce que prouve la construction de la figure; car la double image de *b* dans l'œil droit B est située à gauche en 4.

Les expériences que j'ai décrites sur les doubles images sont susceptibles de variations à l'infini. Mais toutes ces variations dépendent de la même condition fondamentale, c'est-à-dire qu'elles tiennent à ce que les images, dans les deux yeux, ne tombent pas sur des parties identiques.

Fig. 58.



Que les axes des yeux soient dirigés sur le point *a*, tous les points placés dans l'axe *a b c* paraissent doubles; car les images tombent, dans l'un des yeux, sur le milieu de la rétine en 5, et dans l'autre œil en 6, 7, 8, 9, etc.

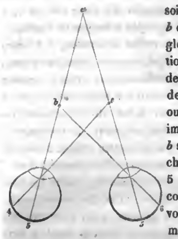


Fig. 59.

Que les deux axes des yeux soient dirigés sur *a*. Les points *b* et *c* représentent des épingles implantées dans la direction de ces axes. Au lieu de deux doubles images de *b*, et de deux doubles images de *c*, ou au lieu de quatre doubles images, on n'en verra que trois; *b* sera vu en 5 dans l'œil gauche, et *c* en 5 dans l'œil droit : 5 et 5 sont identiques; par conséquent, les deux yeux voient ces deux images au même endroit. Mais *c* apparaît dans l'œil gauche en 4, et dans l'œil droit en 6; donc on aperçoit trois épingles, dans l'ordre et à la distance 4, 5, 6.

Les doubles images sont toujours confuses, ce qui résulte nécessairement des considérations précédentes; car elles sont, la plupart du temps, placées sur les parties latérales du champ visuel; et alors même qu'une des images est vue dans l'axe, elle ne l'est jamais avec l'état de réfraction convenable, puisque, comme on l'a dit, cet état change régulièrement suivant l'horoptre auquel il se rapporte.

Les phénomènes de la vue double dépendent si nécessairement de l'organisation des deux yeux, et sont unis d'une manière si intime aux causes de la vue simple, qu'ils doivent se représenter à chaque instant dans l'usage habituel que nous faisons de nos yeux. Mais nous n'y avons point égard d'ordinaire, parce que les doubles images sont confuses, et parce que, notre habitude étant de diriger les axes de nos yeux sur un objet, nous le voyons simple. Dans les cas néanmoins où nous voyons simultanément deux objets placés à d'inégales distances et qui ne se trouvent pas dans le même horoptre, il

faut, de toute nécessité, que l'un ou l'autre nous apparaisse double. C'est qui arrive quand nous regardons une tour à travers une fenêtre ; ou la croisée ou la tour nous paraît double, suivant que nous fixons ou la seconde ou la première. Toutes les fois qu'une cause interne change morbidement la fixation des yeux pour une distance déterminée de l'objet, ou la rencontre de l'horoptre, il doit survenir des images doubles, par exemple dans l'ivresse, dans les fièvres nerveuses, dans les accès des maladies nerveuses, dans le strabisme, avant qu'on s'endorme. Cette double vue ne dépend point d'un changement dans les parties centrales du système nerveux, ou dans la rétine ; elle résulte tout simplement de la perte du pouvoir de fixer un objet. Au moment de nous endormir, nos yeux se tournent toujours fortement en dedans ; aussi tous les objets, même ceux qui sont assez rapprochés, nous paraissent-ils doubles. On reconnaît la convergence plus grande des yeux en dedans à la situation des doubles images, dont la gauche appartient à l'œil gauche. Chez les personnes ivres aussi, les yeux sont tournés en dedans. Il faut bien distinguer la vue double avec deux yeux, de la vue double ou multiple avec un seul. La plupart des hommes voient plusieurs images de la lune, même avec un seul œil ; ces images sont situées les unes sur les autres, et ne se couvrent qu'en partie ; chacune a ses bords particuliers. Chez moi, comme chez beaucoup de personnes, ce phénomène n'a lieu que quand mes regards portent sur des objets extrêmement éloignés ; il est cependant quelques individus chez lesquels des objets même rapprochés y donnent lieu. Prevost l'avait remarqué sur lui-même. Steifensand en a fait le sujet d'intéressantes observations. Cet écrivain est myope. Lorsqu'il contemple une tache claire sur un fond blanc, et qu'il s'éloigne peu à peu, non seulement l'image du point clair devient confuse, mais encore elle se déploie, indépendamment de plusieurs images accessoires sans netteté, en deux images situées

de côté, dont la distance augmente avec l'éloignement du corps; à mesure que ces images s'écartent l'une de l'autre, elles deviennent confuses. De l'œil droit, l'image gauche est un plus élevée; de l'œil gauche, c'est la droite. En tournant la tête à droite, l'image gauche s'abaisse, et la droite s'élève, quand l'œil gauche regarde; l'inverse a lieu si l'œil droit agit. En tournant tout-à-fait la tête, les images tournent aussi autour d'un centre commun (1). Griffin rapporte également que, quand il a regardé pendant longtemps dans le télescope, l'œil qu'il tenait fermé voit ensuite triples les objets rapprochés de lui. Ces phénomènes se rattachent à la construction optique de l'œil; ils tiennent vraisemblablement aux divers champs de fibres dont se compose chaque couche du cristallin.

C. *Rivalité entre les champs visuels des deux yeux.*

Un des phénomènes les plus intéressans de la vue avec les deux yeux consiste en ce que des impressions de couleurs différentes faites sur des points identiques de ces deux organes ne se confondent point en une impression mixte, mais que l'une d'elles prédomine dans une partie ou dans la totalité du champ visuel, et que l'état de l'autre l'œil ne se manifeste qu'en d'autres points de ce champ. On a occasion d'observer ce phénomène lorsque l'on contemple une feuille de papier blanc à travers deux verres diversement colorés, par exemple un bleu et un jaune, que l'on tient immédiatement devant les yeux. Au lieu de voir le papier vert, on le voit en partie bleu et en partie jaune. Quelquefois le bleu ou le jaune prédomine; parfois aussi, on aperçoit soit un nuage bleu ou des taches bleues sur un fond jaune, soit un nuage jaune ou des taches de même couleur sur un fond bleu. Ici c'est le bleu qui absorbe le jaune, et là le jaune qui absorbe le bleu. On con-

(1) Dans le Journal de chirurgie de Graefe et Walther, 1835.

çoit qu'il est difficile que les impressions diverses sur des points identiques des deux rétines ne se mêlent point ensemble, et je me suis convaincu aussi de cette difficulté dans la superposition de deux doubles images diversement colorées produites par l'action de loucher; je regarde comme possible le mélange des deux impressions dans ce dernier cas, que Huschke dit avoir obsevé, mais je le crois difficile. Herrmann et Volkmann ont vu les phénomènes absolument de la même manière que moi, quant au fond.

Si l'on continue longtemps les expériences avec des verres colorés, c'est-à-dire si l'on regarde pendant un laps de temps fort long une feuille de papier blanc à travers deux verres colorés tenus immédiatement devant les yeux, les deux impressions se confondent de plus en plus, ce à quoi elles n'ont pas d'abord la moindre tendance; mais, même alors, l'une des deux couleurs reprend de temps en temps la prédominance, ou se manifeste sous la forme de taches, comme l'a vu Voelcker. Le mélange ne présente aucun intérêt sous le point de vue physiologique; mais l'espèce de rivalité établie entre les deux champs visuels, et la suppression partielle ou totale de l'une des couleurs par l'autre, en ont un très-grand. Nous avons là, dans un phénomène facile à observer, la preuve la plus évidente du mode d'action simultanée des deux yeux; car, non seulement l'expérience elle-même, mais encore d'autres faits nous autorisent à conclure que ces organes se comportent de la même manière dans le cas même d'impressions qui ne sont pas diversement colorées.

La manifestation par taches de l'une des couleurs sur l'autre, la suppression momentanée de l'une par l'autre, et la difficulté de leur mélange ensemble prouvent

1° Que les deux yeux agissent simultanément dans certains momens, puisqu'on voit des taches ou des nuages d'une couleur sur l'autre;

2° Que, par momens, l'impression faite sur l'un des yeux

s'éteint totalement, ou à peu près, et l'autre devient prédominante;

3° Que, par momens aussi, les impressions des deux yeux se confondent ensemble.

Comme les états varient continuellement, les actions des deux yeux nous semblent des phénomènes résultant du trouble de l'équilibre, ainsi que les oscillations du fléau d'une balance. Le repos, ou l'équilibre des actions, a lieu très-difficilement, quoiqu'il soit possible. Mais l'équilibre est troublé, en partie par des influences internes qui nous sont inconnues, en partie aussi probablement par l'attention qui se porte sur l'un ou l'autre œil. Au reste, les phénomènes de rivalité dont il s'agit ici sont très-prononcés chez les personnes qui, comme moi, ont les deux yeux doués d'une faculté visuelle parfaitement égale. L'apparition, sous forme de taches ou de nuage, d'une couleur à la place de celle qu'elle efface, tandis que celle-ci prédomine sur d'autres points, annonce encore qu'il est possible que les diverses parties de la rétine n'agissent point également, et prouve d'ailleurs combien il importe d'observer avec attention les états intérieurs de cette membrane.

Le trouble de l'équilibre dans l'activité simultanée des champs visuels se manifeste en d'autres occasions encore, qui sont assez fréquentes. Il arrive parfois qu'une des deux images, dans la vue double, disparaît tout à coup. Si les deux yeux n'ont pas la même portée, c'est tantôt l'une, tantôt l'autre, qui prédomine et qui détruit entièrement celle de l'autre œil. L'œil dominant est celui à la portée duquel se trouve un objet, vers lequel l'attention se dirige alors. Quelquefois l'image de l'œil qui ne voit plus que d'une manière indistincte, flotte encore vaguement à côté de l'autre; mais elle échappe très-facilement à l'attention. Il en est de même chez l'homme qui louche; l'œil qui louche a presque toujours une portée très-différente de celle de l'œil sain; son image est confuse, tandis que celle de l'autre œil est nette, et l'attention la né-

glige. On conçoit la disparition complète de cette image d'après les phénomènes que présentent les verres colorés. C'est même là très-souvent une occasion de loucher, car on n'emploie pas convenablement le mauvais œil dans la fixation des objets, et, sous tous les rapports, il demeure hors d'usage.

On peut aussi, en regardant d'un seul œil à travers des verres grossissans, observer la faculté qu'a le sensorium de ne s'occuper que du champ visuel d'un œil. En effet, il arrive souvent que l'œil appliqué au microscope est le seul qui voie ou qui distingue; l'autre ne distingue rien, ou du moins son image n'est pas au même point que le champ microscopique de l'autre. Parfois aussi, cependant, il reprend son activité, et l'image qu'il perçoit, venant flotter pour ainsi dire sur l'image microscopique, trouble l'observation.

V. Phénomènes subjectifs de vision.

Si nous laissons de côté les phénomènes de l'action de la rétine dans lesquels la lumière extérieure joue un rôle, tels que ceux des images consécutives, de l'irradiation, et de la vue double, il en reste encore beaucoup d'autres, purement subjectifs, qui nous fournissent des exemples d'action de la rétine provoquée par des causes totalement différentes de la lumière extérieure. C'est à Purkinje (1) surtout qu'on doit la connaissance de ces phénomènes, dont je vais indiquer les plus remarquables.

A. *Figures produites par la pression.*

Purkinje a donné ce nom aux phénomènes de lumière qui ont lieu lorsque l'on comprime l'œil avec le doigt. Ces figures sont tantôt annulaires, tantôt rayonnées, et quelquefois divisées régulièrement en carrés, de sorte que Purkinje les compare à

(1) *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Prague, 1823, 1825.

celles que les vibrations des corps sonores font naître. Lorsqu'on frotte avec un archet de violon un plateau couvert d'eau, le disque ne se divise pas seulement en points vibrans et points immobiles, mais encore l'eau se partage, sur les parties mues du verre, en figures rhomboïdales ou en ondes stationnaires. La figure qui se produit dans l'œil rappelle le croisement des ondes.

B. *La figure arborisée dont il a été parlé plus haut paraît quelquefois lumineuse.*

Purkinje l'a observée quelquefois à la suite de la compression, surtout le matin. Il m'est arrivé souvent aussi de la voir lumineuse sur le champ visuel noir, lorsqu'après avoir gravi un escalier, je me trouvais tout à coup dans un espace obscur, ou quand je plongeais subitement la tête dans l'eau. Le phénomène de lumière est évidemment produit par la pression que les vaisseaux remplis de sang exercent sur la rétine.

C. *Apparition lumineuse du pouls.*

Lorsque le sang se porte à la tête, on aperçoit souvent un changement isochrone au pouls dans la clarté du champ visuel, un sautillement pulsatif dans ce champ. Ce phénomène est très-facile à observer. J'ai vu parfois quelque chose d'analogue, mais c'était un changement du champ visuel isochrone à la respiration et à ce qu'on appelle le mouvement du cerveau, ou l'apparition rhythmique d'une petite tache brillante au milieu du champ visuel, dans l'obscurité; il n'y a pas possibilité de produire ce dernier phénomène à volonté, et il ne s'est offert que rarement à moi.

D. *Mouvement du sang visible.*

On voit aussi, dans beaucoup d'occasions, une expression générale du mouvement du sang. C'est ce qui arrive particulièrement lorsque l'on contemple des surfaces bien éclai-

rées, sans l'être toutefois assez ponr éblouir, par exemple, quand on regarde le ciel, ou qu'on a tenu pendant long-temps ses regards attachés sur du papier blanc ou sur de la neige, sans les en détourner. Le phénomène consiste en une scène de confnsion, un entrecroisement, un sautillement de points, ou un mouvement irrégulier, comme celui d'une vapeur. Il est tellement vague, qu'on ne peut indiquer la direction du mouvement. Mais il provient manifestement du mouvement du sang.

Il faut également rapporter ici le phénomène bien plus prononcé qu'on aperçoit quelquefois, dans le cas de congestion du sang vers la tête, ou de pléthore, lorsqu'après s'être baissé on se redresse brusquement : on voit une foule de petits corps noirs et pourvus de queues, qui sautent et courent en toutes sortes de directions. Le fourmillement est un phénomène analogue dans les nerfs du sentiment.

E. *Apparition de cercles lumineux dans le champ visuel obcur quand on tourne brusquement les yeux de coté.*

Ce phénomène a lieu toutes les fois qu'on tourne brusquement les yeux de côté, dans l'obscurité. L'affection doit avoir son siége dans des points non identiques des deux rétines (à l'entrée des nerfs optiques ?) ; car le phénomène n'apparaît pas au même endroit, et on le voit double.

F. *Figures électriques dans l'œil.*

Ces figures ont été étudiées par Ritter, Purkinje et Hjort. Lorsque l'œil se trouve compris dans un courant galvanique, que, par exemple, les deux pôles sont appliqués aux deux conjonctives, on aperçoit une sorte d'éclair toutes les fois qn'on ferme ou qu'on ouvre la chaîne. Le phénomène a lieu aussi quand l'œil n'est pas placé directement dans le courant, entre les deux pôles, par exemple, lorsque les pôles touchent la paupière inférieure et la membrane muqueuse buccale. Une simple paire de plaques en cuivre et en zinc suffit déjà

pour le provoquer, dans un endroit obscur. Il a plus de vivacité quand on emploie une petite pile. Alors, d'après les expériences de Purkinje, on aperçoit au pôle zinc une sorte de vapeur jaunâtre, et au pôle cuivre une teinte de violet clair. En réunissant les conditions que Purkinje assigne, il se produit encore dans le champ visuel des phénomènes locaux particuliers correspondant à l'entrée du nerf optique et au point central de la rétine.

G. *Apparition spontanée de lumière dans le champ visuel obscur.*

Si l'on observe le champ visuel des yeux en tenant ceux-ci fermés, il arrive quelquefois, non seulement qu'on y aperçoit un certain degré d'éclairage, mais encore qu'on y découvre une lueur plus prononcée, affectant même, dans certains cas, la forme d'ondes circulaires, qui se développent du centre vers la périphérie, où elles disparaissent. Parfois la lueur ressemble à une nébulosité, à des taches, et il est rare qu'elle se reproduise chez moi avec un certain rhythme. A cette apparition spontanée de lumière dans l'œil, qui est toujours très-vague, se rattachent les formes mieux dessinées qui se montrent au moment où l'on va céder au sommeil, et qui dépendent de ce qu'avec le concours de l'imagination les lueurs nébuleuses s'isolent les unes des autres, en revêtant des formes plus déterminées.

Un phénomène opposé à celui-là s'observe quelquefois chez les personnes nerveuses, quand il leur passe devant les yeux une espèce de nuage ou de fumée colorée, qui tient à la lassitude passagère de la rétine. Un individu bien portant peut le provoquer aussi en fixant pendant très-long-temps un champ blanc ou coloré.

H. *Flamboiement au devant des yeux après l'usage des narcotiques.*

C'est principalement la digitale qui détermine la manifestation de ce phénomène. Purkinje en a fait le sujet d'observations sur sa propre personne. Lorsque l'action est intense, il se produit aussi des formes déterminées.

I. *Mouvemens apparens des objets après que le corps a tourné en rond.*

Il a déjà été fait mention de ce phénomène. Sous le rapport de ses causes, que j'ai également indiquées, on doit bien le distinguer des mouvemens apparens qu'on aperçoit lorsqu'on a précédemment observé des mouvemens réels ; car ceux-ci dépendent de l'extinction successive des images consécutives. Le mouvement apparent après l'action de tourner en rond a lieu aussi dans le cas où celle-ci a été exécutée les yeux fermés.

J. *Absence de la faculté d'apercevoir les couleurs.*

Il y a beaucoup de personnes qui, par une disposition innée de leur rétine, distinguent mal les couleurs. Les nombreuses observations du jeune Seebeck sur ce phénomène ont fourni les résultats suivans. Outre les hommes qui ont de la peine à déterminer les couleurs, sans cependant regarder comme identiques celles qui diffèrent entre elles, il y en a d'autres qui confondent plus ou moins ensemble des couleurs totalement différentes. On remarque des nuances eu égard, non seulement au degré, mais encore au mode de la confusion. Sous ce dernier rapport, les sujets examinés par Seebeck formaient deux classes, en négligeant les différences peu importantes.

Chez les individus de la première classe il y avait des différences assez considérables relativement au degré où la con-

fusion était portée par eux ; mais on en remarquait peu sous le rapport du mode de cette confusion. Les couleurs qu'ils confondent facilement ensemble sont l'orangé clair et le jaune pur ; l'orangé foncé, le vert jaunâtre ou brunâtre et le brun jaune ; le vert clair pur, le gris brun et la couleur de chair ; le rose, le vert (plus bleuâtre que jaunâtre) et le gris ; le cramoisi, le vert foncé, et le brun châtain ; le vert bleuâtre et le violet sale ; le lilas et le gris bleu ; le bleu de ciel, le gris bleu et le lilas gris. Ces personnes sont très-peu sensibles à l'impression spécifique de toutes les couleurs en général : ce qu'elles sentent le moins, c'est le rouge et le vert complémentaire, couleurs qu'elles distinguent peu ou point du gris ; vient ensuite le bleu, qu'elles ont assez de peine à distinguer du gris. C'est pour le jaune qu'elles ont pour la plupart le plus de sensibilité ; cependant elles le distinguent beaucoup moins du blanc que ne le fait un œil réunissant toutes les conditions normales.

Quant aux sujets de la seconde classe, c'est le jaune qu'ils discernent le mieux. Ils distinguent le rouge un peu mieux et le bleu moins bien que ceux de la précédente ; mais ils sont surtout moins aptes à établir la distinction entre le rouge et le bleu. Les couleurs qu'ils confondent ensemble sont : l'orangé clair, le jaune verdâtre, le jaune brunâtre et le jaune pur ; l'orangé vif, le brun jaune et le vert herbacé ; le rouge briqueté, le brun couleur de rouille et le vert olive foncé ; le rouge de cinabre et le brun foncé ; le carmin foncé et le vert bleu-noirâtre ; la couleur de chair, le brun gris et le vert bleuâtre ; le vert bleuâtre mat et le gris (un peu brunâtre) ; le rose sale (un peu jaunâtre) et le gris pur ; le rose, le lilas, le bleu de ciel et le gris (tirant un peu sur le lilas) ; le cramoisi et le violet ; le violet foncé et le bleu foncé. Ce qui les différencie des sujets de la classe précédente, c'est qu'ils n'ont qu'une faculté sensitive plus faible pour les rayons les moins réfringens.

Il faut exclure des phénomènes subjectifs de vision les images d'objets qui se trouvent dans l'intérieur de l'œil même, et qui projettent une ombre sur la rétine. Telles sont les figures filiformes et contournées, dans lesquelles semblent être contenues des séries de globules. Ces figures sont mobiles; leurs parties ne conservent pas la même situation les unes à l'égard des autres, et elles-mêmes changent de place dans le champ visuel. A l'aide d'un mouvement énergique de l'œil, on peut les transporter un peu de côté ou vers le haut, mais elles reparaissent bientôt, et quand on les a fait monter, elles redescendent peu à peu. Chez certains individus, elles sont en grand nombre dans le champ visuel, quoiqu'on n'aperçoive bien nettement que celles qui en occupent la partie moyenne. Il leur arrive souvent, dans les observations microscopiques, de se placer au devant de l'objet qu'on examine, et de contrarier jusqu'à un certain point les recherches : j'ai coutume de me débarrasser d'elles en portant l'œil de côté. Beaucoup de personnes ne les connaissent pas, tandis qu'elles deviennent pour d'autres un véritable sujet de tourment. Quelques écrivains les désignent sous le nom impropre de *mouches volantes*, et les confondent à tort avec certains phénomènes subjectifs de vision qui accompagnent la formation de la cataracte; car elles sont fort innocentes, et n'influent en rien sur la bonté de la vue. On ignore encore si elles tiennent ou non à des particules flottantes dans l'humeur aqueuse ou dans le corps vitré.

Section seconde.

Du sens de l'ouïe.

CHAPITRE PREMIER.

Des conditions physiques de l'audition.

Une impulsion mécanique imprimée à l'organe acoustique produit la sensation du bruit dans le nerf auditif. Lorsque cette impulsion vient à se répéter avec vitesse et d'une manière régulière, elle donne lieu à un bruit déterminable, qu'on appelle son. L'élévation ou l'acuité du son croît en proportion du nombre des impulsions dans un temps donné. Les vibrations de corps élastiques sont la plus fréquente de toutes les causes du son. Pendant l'action d'une scie, de la roue de Savart, ou de la sirène de Cagniard-Latour, de simples chocs, qui, par eux-mêmes, produisent tout au plus la sensation du bruit, acquièrent par leur accumulation la valeur d'un son déterminé. Un corps élastique vibrant qui, en comptant ses excursions des deux côtés, ferait mille oscillations par seconde, donnerait dans le même laps de temps cinq cents impulsions à l'organe auditif par l'intermédiaire de l'air ou du milieu conducteur du son. Ces impulsions correspondent parfaitement, quant au résultat, à cinq cents secousses d'un corps qui résonne par des chocs seulement, et non par des oscillations semblables à celles du pendule.

Que les sons soient produits par des oscillations ou par des heurts, la propagation des oscillations ou des secousses à l'organe auditif s'effectue toujours d'après les lois du mouvement ondulatoire, qui s'appliquent également à la formation pri-

mordiale des sons engendrés par des oscillations. Il faut donc commencer par traiter du mouvement ondulatoire.

I. Mouvement ondulatoire en général (1).

Quand l'équilibre des molécules d'un corps vient à être dérangé par une cause extérieure, son rétablissement est précédé d'un mouvement de ces mêmes molécules, en vertu duquel elles se rapprochent et s'éloignent alternativement de leur situation primitive. Lorsqu'on pousse un pendule de côté, il marche jusqu'à ce que sa force motrice soit devenue $=0$; alors il est tiré de haut en bas par sa pesanteur, et tombe avec une vitesse accélérée; mais, ne pouvant point par cela même demeurer en repos, il remonte du côté opposé, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. Les mouvemens par lesquels les molécules d'un corps se rapprochent et s'éloignent alternativement de leur position d'équilibre, sont appelés *vibrations* ou *ondulations*. Les ondulations sont ou des *ondes d'inflexion* ou des *ondes de condensation*. Dans le premier cas, la surface du corps se couvre de protubérances et de dépressions, sans que sa densité subisse aucun changement. Dans le second, l'onde consiste en une condensation sans changement de la surface : à la dépression des ondes d'inflexion correspond ici une raréfaction. L'oscillation est ou *progressive*, quand elle s'avance successivement à la surface du corps, ou *stationnaire*, quand elle ne change pas de lieu et ne fait que s'écarter à droite et à gauche.

A. *Ondes d'inflexion des liquides.*

Les ondes d'inflexion des liquides sont des changemens que l'équilibre éprouve à leur surface et jusqu'à une certaine

(1) *Consultez* E.-H. Weber et W. Weber, *Wellenlehre*, Leipzick, 1825.

profondeur. La pesanteur est la cause de ce mouvement ondulatoire. Les ondes d'inflexion de l'eau sont beaucoup trop lentes pour pouvoir devenir la cause de sons. Cependant il importe d'en connaître les lois, car c'est en elles qu'on observe le plus facilement les lois du mouvement.

1. Ondulations progressives, ou ondes.

Quand l'équilibre d'un liquide est troublé sur un point, il se forme, autour de ce point, une onde circulaire, avec protubérance et dépression circulaires, qui se propage en dehors, et à laquelle succèdent de nouvelles ondes. Plus le choc a été fort, plus les ondes sont élevées, et plus leur vitesse est grande; mais celle-ci dépend aussi de la profondeur du liquide. Lorsqu'on produit des ondes dans une gouttière profonde et à parois parallèles, au moyen d'un choc dirigé sur toute la largeur de la gouttière, ces ondes marchent en ligne droite, et non circulairement. Du reste, le mouvement ondulatoire n'est point un mouvement progressif des particules de l'eau; car celles-ci restent en place pendant que les ondes passent par dessus. Les molécules du liquide éprouvent seulement, à l'endroit où une onde passe sur elles, une rotation qui dépend de ce qu'à l'arrivée de l'onde, elles sont situées à sa partie inférieure, tandis que, durant la marche de cette onde, elles en gagnent successivement le sommet : l'onde continue cependant son cours, et les molécules d'eau descendent le long du versant postérieur jusque dans la dépression, d'où elles remontent à l'approche de l'onde suivante.

Toutes les fois que deux ondes, d'égale hauteur et provenant de lieux opposés, se rencontrent, elles se croisent sans se porter obstacle l'une à l'autre. La protubérance de l'une et celle de l'autre se confondent, et en forment une de hauteur double; les deux dépressions font de même. Ici deux forces qui agissent en sens contraire sollicitent les molécules du li-

quide à des rotations en sens opposé. Ces sollicitations se détruisent mutuellement, et les molécules ne se meuvent que verticalement. Après le croisement, les ondes continuent de marcher chacune dans sa direction.

Si, à la rencontre de deux ondes, la protubérance de l'une coïncide avec la dépression de l'autre, elles se détruisent réciproquement, et le point demeure uni. Après le croisement, les ondes reprennent leur direction.

Lorsque des ondes parallèlles se croisent avec d'autres ondes paralèlles ayant une direction différente, mais non opposée, les divers cas qui viennent d'être passés en revue ont lieu à la fois sur des points différens. Supposons que, dans

Figure 60.

la *figure* 60, les lignes pleines représentent les protubérances des ondes, et les lignes ponctuées leurs dépressions, il arrive qu'aux pints où les premières se croisent, des protubérances d'une hauteur double se forment, qu'à ceux où les secondes se croisent, des dépressions d'une profondeur double ont lieu, et qu'à ceux où les lignes pleines se croisent avec les lignes ponctuées, la protubérance des unes et la dépression des autres se détruisent mutuellement, de sorte que ces endroits demeurent unis. C'est là l'interférence des ondes.

Les ondes sont réfléchies par les parois des corps solides. Leur réflexion a lieu sous le même angle que leur incidence, comme pour la lumière. Supposons une onde décomposée en une série de forces qui marchent côte à côte, chaque partie de cette onde est réfléchie par la paroi solide sous un angle égal à celui sous lequel elle le choque, d'où résulte un système de parties réfléchies d'ondes formant ensemble une onde réfléchie, et qui ont ou la même direction que les ondes primordiales, ou une direction différente. Les ondes réfléchies et les ondes primordiales ont une même direction quand on excite des ondes en ligne droite dans une gouttière profonde,

et que leur direction est perpendiculaire à la paroi réfléchissante, ou aussi lorsque des ondes circulaires partent d'un point, et choquent une paroi qui décrit elle-même un cercle autour de ce point : dans ce dernier cas, les ondes réfléchies reviennent vers le centre du cercle.

Une onde circulaire qui rencontre une paroi droite subit la même réflexion que si elle venait d'un point situé derrière cette paroi, à une distance égalant celle qui est comprise entre celle-ci et le centre de l'onde primitive.

Les ondes qui partent d'un des foyers d'une ellipse, à la périphérie de laquelle elles rencontrent une paroi, sont réfléchies de telle sorte qu'au retour leur centre coïncide avec l'autre foyer de l'ellipse, attendu que l'angle de réflexion est égal à celui d'incidence.

Par la même raison, celles qui partent circulairement du foyer d'une parabole, à la périphérie de laquelle elles rencontrent une paroi, reviennent sur elles-mêmes suivant une ligne droite paralèlle à l'axe de la figure. De même, les ondes rectilignes qui suivent une direction paralèlle à l'axe d'une parabole sont réfléchies par les parois de celle-ci, de telle sorte qu'à leur retour elles aient pour centre commun son foyer, où, en conséquence, elles se réunissent circulairement et concentriquement. Donc, quand des ondes circulaires, partant du foyer d'une parabole dont les parois les renvoient transversalement dans une direction paralèlle à l'axe, viennent à rencontrer un second segment de parabole, elles éprouvent une nouvelle réflexion qui les fait coïncider au foyer de cette seconde figure.

Figure 61.

Vient-on à produire des ondes dans l'eau par un choc ayant lieu suivant la longueur d'une ligne, on peut se représenter chaque point de cette ligne comme un centre d'ondes circulaires dont le départ est simultané, et qui, par conséquent, conservent toujours la même

dimension dans leur course ultérieure. De la superposition des cercles, il résulte, parallèllement à la ligne d'où le choc est parti, une plus grande onde droite, antérieure et postérieure (*a b*).

Fig. 62.

Un corps qui chemine dans l'eau donne lieu sans cesse à des ondes circulaires. Les plus récentes sont encore petites, tandis que les plus anciennes, derrière le corps, ont déjà d'autant plus d'étendue qu'elles sont nées plus tôt. Sur les côtés, où ces ondes se couvrent, elles en produisent de plus grandes, *a*, *b*, qui divergent en s'éloignant du corps d'où émane le choc.

Quand des ondes passent à travers une ouverture, elles ne conservent pas la forme qu'elles avaient dans cette dernière ; leurs extrémités, en passant près des bords, s'infléchissent circulairement autour deux, de manière qu'après leur passage les ondes s'étendent non pas seulement en avant, mais encore sur les côtés. C'est là ce qu'on appelle l'inflexion des ondes.

2. *Ondulations stationnaires.*

Figure 63.

Supposons que *a b c d e* (fig. A.) représentent une onde excitée dans un liquide; *c d e*, la protubérance de l'onde ; *a b c*, sa dépression; et *e* une paroi solide contre laquelle cette onde vient battre. Il y a un moment où l'onde s'est rapprochée de la paroi *e* d'une moitié de sa protubérance, ou d'un quart de sa longueur, et affecte la figure *a b c d* (A I). Alors la première moitié de sa protubérance est déjà réfléchie, de sorte que la demi-protubérance appliquée à la paroi se compose d'une demi-onde progressive *c d*, et d'une demi onde réfléchie *d' e'*, ce qui fait qu'elle est plus haute. Après un second moment, l'onde s'est avancée vers la paroi jusqu'à sa dépression, et toute sa protubérance est réfléchie. Dans A II, *a b c* est la dépression de l'onde, *c' d' e'* sa protubérance réfléchie, et toutes deux s'effacent mutuellement, de sorte que l'endroit est uni pendant le second moment. Après un troisième moment, la dépression de l'onde s'est aussi avancée de moitié, et il n'en reste plus que la moitié *ab*. Dans A III, la première moitié de la dépression est déjà réfléchie, *b' c'*; mais la protubérance, qui avait été précédemment réfléchie, a rétrogadé de la moitié de sa longueur, *c' d' e'*. Après un quatrième moment, la seconde moitié de la dépression de l'onde, primitive a achevé sa course et elle est réfléchie, *a' b' c'*, tandis que la protubérance réfléchie avant elle s'est reculée de la seconde moitié de sa longueur. Ainsi (A IV), après ces quatre momens, la position de l'onde

réfléchie, *a' b' c' d' e'*, est la même que celle de l'onde primitive avant le premier moment, mais inverse, de manière (A. v.) que là où était la protubérance de la première, se trouve la dépression de la seconde, et que la dépression de celle-là a été remplacée par la protubérance de celle-ci.

Si maintenant, derrière la première onde primordiale B *a b c d e*, s'en trouve une seconde *x a*, la situation sera, après le premier moment, comme dans la fig. B I, après le second, comme dans la fig. B II, après le troisième, comme dans la fig. B III. Alors la protubérance de la seconde onde primordiale et celle de la première onde réfléchie se couvrent. D'où il suit que là se trouve une protubérance plus élevée. Après le quatrième moment, la protubérance de la seconde onde primordiale couvre la dépression de la première onde réfléchie, et réciproquement. A ce moment la surface sera unie (B IV). Pendant, le moment suivant, les deux sortes d'ondes ont encore marché du quart d'une onde entière en sens inverse, c'est-à-dire que les parties qui se couvraient auparavant, se sont éloignées l'une de l'autre d'une demi-longueur d'onde; la position devient donc telle qu'elle est représentée en C, où

Figure 64.

B. — B. I. — B. II. — B. III. — B. IV. — C. — C. I.

les dépressions se couvrent, ainsi que les protubérances, d'où résultent et une protubérance plus haute et une dépression plus profonde. Dans le sixième moment (C 1), les protubérances recouvrent de nouveau les dépressions. Ces ondes qui se répètent régulièrement portent le nom d'ondes stationnaires. Ici les protubérances et les dépressions ne s'avancent point sur d'autres parties du liquide, et les changemens verticaux demeurent à la même place. Ce sont des élévations et des dépressions verticales alternatives, suite de deux mouvemens ondulatoires qui se croisent.

On produit des ondulations stationnaires dans une gouttière droite, en y excitant régulièrement des ondes qui se développent à la suite les unes des autres, après quoi elles éprouvent une réflexion. On en détermine aussi, dans un vase circulaire, en excitant avec régularité des ondes au milieu. Les frères Weber en ont également observé dans des vases pleins de liquide et posés sur un tambour, ou sur une chaise de canne, lorsqu'ils frappaient en mesure la base élastique.

B. *Ondes d'inflexion des corps solides.*

Les ondes d'inflexion reconnaissent la pesanteur pour cause dans les liquides ; celles des corps solides dépendent du trouble et du rétablissement de la cohésion et de l'élasticité. Elles sont beaucoup plus rapides qne celles de l'eau, et, dans des corps élastiques, elles deviennent cause de sons.

Une corde tendue qu'on frappe, non dans le milieu, mais près d'une de ses extrémités, éprouve sur ce point une dilatation qui, à l'instar d'une onde, se communique à la corde entière, marche d'une extrémité à l'autre, revient sur elle-même quand elle est arrivée au bout, et en un mot se comporte comme on le voit dans le mouvement ondulatoire des liquides.

Si l'on répète plusieurs fois de suite le choc de la corde,

des ondes régulières se succèdent, comme sur l'eau, et ces ondes étant réfléchies à l'autre bout de la corde, il s'ensuit que le croisement d'ondulations opposées donne lieu à des ondes stationnaires, comme dans le cas dont il a été parlé plus haut. C'est ainsi que de vibrations progressives il résulte des vibrations stationnaires. Les points de repos entre les ondes portent le nom de nœuds.

La plus simple vibration stationnaire d'une corde n'est cependant pas celle qui procède de vibrations progressives, mais celle qui a lieu quand la corde vibre entre ses points d'attache, ou la vibration transversale. En pareil cas, les points d'attache sont les nœuds. Le moyen le plus facile de faire naître ces sortes de vibrations est de pincer ou de frotter une corde. La vibration transversale de corps rigides non tendus, par exemple de verges métalliques fixées à l'un des bouts, est également une vibration stationnaire.

C. *Ondes de condensation des liquides, des gaz et des corps rigides.*

Dans les ondes d'inflexion de l'eau, il n'y a ni condensation ni raréfaction ; ces deux phénomènes n'accompagnent pas non plus nécessairement celles d'une corde. Si la corde n'est point extensible, ou n'est point élastique, les ondes d'inflexion peuvent être produites par une simple torsion des molécules et par leur tendance à se redresser. A la vérité, les ondes d'inflexion des cordes sont la plupart du temps accompagnées aussi de condensation et de raréfaction. Ce qu'il y a de particulier dans les ondes d'inflexion, c'est qu'un grand nombre de molécules reçoivent simultanément un mouvement si fort, dans une direction perpendiculaire à la surface du corps, que cette surface éprouve un changement visible. Les ondes de condensation, au contraire, se produisent, dans tous les corps, quand le choc ne meut que les plus petites molécules, successivement et l'une par l'autre. Aussi les nomme-t-on en-

core ondes du choc progressif. Le choc que les particules mises en mouvement impriment aux suivantes donne nécessairement lieu à une condensation, qui, à son tour, détermine une raréfaction derrière elle. Le mouvement propagé de molécule à molécule est d'ailleurs si petit, qu'aucun changement ne devient visible à la surface des corps. C'est ainsi que le choc parcourt toute une série de billes, sans que celles-ci changent de place.

La direction du mouvement des molécules, que produit le choc condensateur, peut, dans une verge ou dans une corde, différer de celle suivant laquelle l'onde de condensation marche. Si, par exemple, la verge ou la corde *a*——————*b* vient à être frappée, dans le voisinage de *a*, perpendiculairement à sa longueur, les particules mises en mouvement poussent les particules voisines dans la même direction, c'est-à-dire perpendiculairement vers *a b*, et celles-ci font de même pour les suivantes, jusqu'à ce qu'en dernier lieu *b* se meuve : donc, toutes les particules comprises entre *a* et *b* sont successivement mues ou mises en état de condensation dans une direction perpendiculaire à *a b*; en d'autres termes une onde court depuis *a* jusqu'à *b*, pendant que le mouvement des molécules par le choc est tout différent, c'est-à-dire perpendiculaire à *a b*. Si le choc a été donné au milieu de la verge, l'onde marche en deux sens, vers *a* et vers *b*. De semblables ondes naissent aussi dans une plaque, comme l'a montré Savart.

La propagation du choc dans des corps affectant les trois dimensions, par exemple dans des rochers, dans de l'eau, dans des masses d'air, a lieu de tous les côtés. Celle du son, dans tous les corps, s'opère par propagation du choc ou des ondes de condensation.

Les ondes qui sont excitées dans l'air consistent en condensations et raréfactions progressives. Le point condensé est la protubérance de l'onde, et le point raréfié en est la dé-

pression. Une onde d'air qui marche dans un tuyau revient sur elle-même quand ce tuyau est fermé à l'extrémité, et conserve ses propriétés au retour. Elle revient également d'une manière incomplète dans un tube ouvert; mais l'expérience enseigne qu'elle acquiert alors des propriétés inverses, qu'elle devient raréfiante quand elle était condensante, et *vice versâ*. En plein air, les ondes sont sphériques.

II. Ondes stationnaires et progressives des corps résonnans.

Les corps résonnans produisent, quand ils vibrent, ou des ondes d'inflexion ou des ondes de condensation. Les unes ou les autres, ou toutes deux à la fois, s'observent dans les cordes et les corps solides qui résonnent. Les masses d'air résonnantes n'ont que des ondes de condensation. Les ondes des corps résonnans sont tantôt stationnaires, tantôt progressives.

Lorsqu'on soulève une corde dans son milieu, et qu'ensuite on l'abandonne à elle-même, on ne remarque pas d'ondes progressives, ou elles ne sont point très-prononcées. Mais la corde vibre de droite et de gauche dans toute l'étendue de l'écart qu'on lui a donné; elle vibre de toute sa longueur dans une direction transversale, comme le fait un pendule. Arrivée au terme de son excursion, elle cherche à redevenir rectiligne, en vertu de son élasticité; mais la vitesse dont elle est animée la rejette au-delà de la ligne droite, du côté opposé, et ainsi de suite jusqu'au moment du repos. C'est là une vibration stationnaire.

La vitesse de ses oscillations, ou le nombre de chocs qu'elle imprime à l'air, croît en raison inverse de sa longueur et en raison directe des quarrés des forces qui la tendent, c'est-à-dire qu'une corde qui fait cent vibrations par seconde, en fait deux cents lorsqu'on réduit sa longueur de moitié, sans modifier la tension, et que si, sa longueur demeurant la même, elle donne cent vibrations par seconde avec une tension d'une

once, elle en donnera deux cents avec une tension de quatre onces, et quatre cents avec une tension de seize onces.

Les verges aussi sont susceptibles de vibrations transversales stationnaires. Ici le nombre des vibrations est en raison directe de l'épaisseur des verges et inverse des carrés de leur longueur.

Dans certaines circonstances, une progression longitudinale de la crête de l'onde est accompagné d'une vibration transversale stationnaire de la corde, sans que pour cela le nombre des vibrations devienne autre qu'il n'est dans la simple vibration transversale. Par exemple, qu'on pince la corde au voisinage de son point d'attache, elle ne fait pas seulement des vibrations transversales, comme lorsqu'on la pince dans le milieu de sa longueur, c'est-à-dire des vibrations transversales à longueur d'onde égalant la longueur de la corde, mais la crête de l'onde court alternativement d'une extrémité à l'autre, attendu que chaque, fois qu'elle rencontre les points d'attache, elle revient vers le côté opposé de la corde. Le nombre des vibrations d'une corde qui vibre ainsi est absolument le même que quand cette corde vibre à situation constante de la crête de l'onde dans son milieu, et comme l'élévation du son dépend du nombre des vibrations dans un temps donné, elle est la même dans les deux cas ; mais le timbre diffère un peu. Cette circonstance est importante pour la théorie du timbre.

Il se produit aussi des ondes stationnaires lorsque, soutenant doucement la corde par dessous, ou appuyant légèrement le doigt dessus, on donne lieu à un nœud, et qu'ensuite on frotte la portion isolée. Par exemple, qu'on touche la corde dans le milieu, puis qu'on passe un archet de violon sur l'une de ses moitiés, non seulement cette moitié éprouve des vibrations transversales, mais encore l'autre en offre dans une direction opposée. Alors le nombre des vibrations est double de celui des vibrations de la corde entière, et le son produit est l'oc-

tave du son fondamental. Si l'attouchement ou l'appui a lieu entre le premier et le second tiers, il se forme aussi de soi-même un nœud entre le second et le troisième tiers, et le nombre des vibrations est triple de celui de la corde entière. On peut de même, en isolant un quart, un cinquième, etc., déterminer une division régulière de la corde entière en quarts, en cinquièmes, par des nœuds qui s'établissent d'eux-mêmes. Des chevrons de papier placés sur les nœuds ne sautent point pendant la vibration. Les sons ainsi produits sont appelés sons de flageolet.

Des plaques qu'on fait vibrer au moyen de l'archet, se partagent régulièrement en quatre, six, huit, parties aliquotes, vibrant en des directions opposées, et entre lesquelles se trouvent les lignes nodales de repos, qui ne rejetent point le sable étalé à leur surface. Il suffit de toucher le bord de la plaque sur un point pour faire naître une ligne nodale, qui devient déterminante pour la séparation des autres. Le seconde détermination part du point sur lequel passe l'archet. Ce point appartient aux parties mues, et agit d'une manière déterminante sur la formation des segmens mis en mouvement. C'est là dessus que reposent les figures de Chladni.

Les vibrations, tant stationnaires que progressives, des corps élastiques peuvent produire des sons dans notre organe auditif, quand elles se répètent régulièrement. Car les vibrations stationnaires deviennent aussi des ondes progressives lorsqu'elles sont communiquées aux corps conducteurs du son, puisque toute vibration excite une onde progressive dans l'air, dans l'eau, ou dans les corps solides conducteurs du son.

Des corps solides peuvent, tout aussi bien que l'air contenu dans des tuyaux, résonner par des ondes de condensation progressives. Les verges donnent des ondes de condensation longitudinales, quand on les frotte dans le sens de leur longueur.

Une corde peut aussi produire des sons sans vibrations

transversales, par de simples ondes de condensation progressives. La durée de l'allée et de la venue des condensations et des raréfactions, qui détermine le nombre des ondes excitées dans l'air, dépend naturellement de la longueur et de la tension des cordes. Mais, sans des chocs continuellement répétés, ces ondes ne conservent pas la force et la durée requises, tandis que les vibrations transversales des cordes durent plus long-temps. Le frottement produit ces chocs continuellement répétés. Cependant il est une modification des chocs au moyen de laquelle on exerce aussi de l'influence sur la rapidité de la succession des ondes longitudinales. Tel est le cas des vibrations longitudinales des cordes, que Chladni excitait par le frottement dans le sens de la longueur. Les sons de harpe éolienne des cordes paraissent aussi le ranger ici. Pellisov (1) prétend qu'il n'y a point de vibration transversale commensurable dans les sons de harpe éolienne produits au milieu de l'air. Suivant la force du vent, il se produit des sons harmoniques différens, sans qu'on aperçoive de nœuds. Pellisov a de plus indiqué un moyen de faire rendre des sons fort différens à une corde de violon, dont la tension demeure la même, en modifiant la manière dont on la frotte. Ce moyen consiste à poser l'archet tout près du chevalet d'une corde de violon longue de deux pieds, épaisse d'un tiers de ligne, et montée en sol_2, et à la frotter aussi légèrement que possible, d'une manière toujours égale. Le son se règle alors tout-à-fait d'après la force et la rapidité du frottement, et l'on peut produire avec facilité, non seulement tous les sons que la corde donne d'ailleurs au moyen du vent, ou tous les sons de la harpe éolienne, sol_2, re_3, sol_3, si_3, $ré_4$, fa_4, sol_4, la_4, mais encore la plupart de ceux qui sont intermédiaires, et d'autres plus élevés. Dans cette circonstance, suivant Pellisov, les vibrations de la molécule que l'archet touche immédiatement courent à

(1) Poggendorff, *Annalen*, XIX, 287.

l'extrémité opposée, et y sont réfléchies. En tenant l'archet d'une manière particulière, il a produit, sur des cordes, des sons plus graves que leurs sons fondamentaux, et qui par conséquent ne dépendaient pas de vibrations transversales.

Pellisov va plus loin encore : il prétend que, même dans les vibrations transversales de la corde, le son n'est pas produit par celles-ci, mais par les allées et venues des ondes de condensation et de raréfaction, qu'il nomme aussi vibrations moléculaires. D'après la manière de voir ordinaire, ces petites ondes d'un corps élastique, qui partent du point où le choc a lieu, et qui se communiquent à la totalité du corps en vertu de l'élasticité, n'entrent en ligne de compte qu'en tant qu'elles produisent pour résultat la vibration du corps entier entre ses extrémités ou entre ses nœuds de vibration. Pellisov pense, au contraire, que le son dépend de la rapidité avec laquelle vibrent les plus petites parties de la corde, de la colonne d'air, de la verge, de la plaque, etc. Les vibrations de la corde, de la colonne d'air, de a plaque entière, ou de leurs grandes divisions n'ont d'importance ici qu'en ce qu'elles agissent comme cause déterminante par rapport à la rapidité de la vibration moléculaire. D'après cela, il ne se produirait point de son si une corde vibrait transversalement, sans que ses molécules fissent chacune des vibrations, c'est-à-dire sans les ondes condensantes progressives, qui vont et viennent entre les nœuds.

Quoiqu'on ne puisse pas regarder comme prouvée l'hypothèse de l'impuissance des vibrations transversales des cordes à produire des sons, cependant la simultanéité de ces vibrations et des ondes condensantes progressives, allant et venant dans un corps résonnant, fait très-bien concevoir la manifestation de certains sons. Indépendamment du son fondamental, une corde en donne aisément un autre léger et harmonique avec celui-là, l'octave de la quinte, ou la double octave de la tierce.

On connaît aussi les sons harmoniques que fait entendre une cloche.

Dans l'air des sifflets il n'y a point de vibrations transversales, mais seulement des ondes condensantes progressives et recnrrentes. Bien que continu, le souffle détermine un effet intermittent. Le nombre des ondes dans un temps donné, ou, ce qui revient au même, leur épaisseur, dépend de la longueur de la colonne d'air contenue dans le tuyau.

Lorsqu'on souffle modérément dans les sifflets couverts, on fait naître leur son fondamental, pendant la durée duquel le nœud de vibration se trouve à l'extrémité de la colonne d'air. Dans le sifflet ouvert, le nœud de vibration est placé au milieu, et le son plus élevé d'une octave. En soufflant plus fort, on produit encore d'autres divisions de la colonne d'air, et par conséquent des sons plus aigus.

Du reste, quant à ce qui regarde les lois auxquelles sont assujétis les instrumens de musique, je dois renvoyer au chapitre de la voix, où la théorie de ces instrumens a été exposée.

Il me reste encore à expliquer la différence qui existe entre son, bruit et timbre.

Toute impression produite sur l'organe auditif par une onde qui lui est communiquée, ou par plusieurs ondes, est un son. Un seul ébranlement donne lieu à un son simple, qu'on appelle explosion lorsqu'il est fort. La force du son dépend de l'amplitude de la vibration des molécules. Sa qualité peut varier beaucoup. Le bois, le carton, les métaux ont des qualités de son différentes. Ces qualités paraissent dépendre, en partie de la forme de l'onde, en partie de l'isochronisme d'ondes animées d'une vitesse diverse. Un corps, quand il n'a pas la même élasticité dans tous les sens, peut aussi, lorsqu'on l'ébranle, produire, en différens endroits, des ondes de longueur différente, qui se transmettent, à un plus ou moins long intervalle l'une de l'autre, du corps résonnant au corps con-

ducteur du son, et qui communiquent à ce dernier une onde composée, de forme particulière. Cette onde composée, ou la somme d'ondes, arrive à l'organe auditif dans le même ordre et dans la même forme qu'elle avait en traversant le milieu conducteur, puisque toutes les vibrations sont propagées avec une égale vitesse par un corps conducteur du son. Ce qui contribue encore à la qualité du son, c'est qu'un corps peut accomplir en même temps une vibration transversale et une vibration longitudinale. Une corde pincée près de son extrémité, et abandonnée à elle même, exécute des vibrations transversales dans toute sa longueur, tandis qu'en même temps la crête de l'onde court alternativement d'un bout à l'autre, en revenant chaque fois de l'autre côté de la corde. De là vient que la qualité du son d'une même corde varie un peu, à égalité de longueur et de tension, suivant le point où l'on pince cette corde. Enfin, Pellisov et Eisenlohr pensent que la forme de l'onde est modifiée aussi par la densité du corps résonnant. Dans un corps dense, l'excursion de la vibration est moindre que dans un corps qui a moins de densité. Les molécules d'air qui le touchent sont repoussées par lui d'une manière plus isochrone, et l'espace raréfié qu'il laisse en se contractant est plus étroit. Enfin, lorsque la densité du corps résonnant n'est point uniforme, la condensation communiquée à l'air, et la raréfaction qui y succède, ne doivent pas l'être non plus.

Quand plusieurs ondes se succèdent l'une à l'autre, il se produit un son plus ou moins soutenu, qui est tantôt un bruit, et tantôt un son proprement dit ou appréciable. Une succession de sons égaux ou inégaux dans des temps inégaux donne lieu au bruit (cliquetis, grattement, bourdonnement, etc.). Une succession de sons simples ou de bruits dans des temps égaux, n'est point perçue comme son proprement dit, tant qu'on distingue encore chacun des ébranlemens; il ne résulte de là qu'un bruissement. Dès qu'on ne peut plus distinguer les

ébranlemens, il y a son proprement dit, dont l'élévation ou l'acuité varie suivant la vitesse avec laquelle se succèdent les ébranlemens. C'est ce qu'on apprécie très-bien avec la roue de Savart, dont les dents ne produisent que du bruit aussi long-temps qu'on peut distinguer les chocs; mais, lorsque ceux-ci se succèdent plus vite, les bruits se confondent en un son, quoiqu'on puisse encore continuer d'entendre le bruit. D'où il suit que ce n'est pas seulement une succession régulière d'ondes simples, mais encore une succession régulière d'ondes très-composées ou bruyantes, qui devient un son musical.

Un son éclatant est celui que produisent des ondes simples, d'une force suffisante, sans ondes irrégulières intermédiaires, c'est-à-dire sans bruit. La qualité de l'éclat, ou le timbre d'un son, dépend des mêmes causes que la qualité du son simple: il n'y a de plus ici que la succession régulière des ondes.

III. Mouvement ondulatoire dans la propagation du son.

A. *Ondes progressives dans la propagation du son.*

La propagation des vibrations de corps résonnans a lieu, généralement, par des ondes de condensation et de raréfaction, et non par des ondes d'inflexion. L'eau aussi conduit les ondes sonores de cette manière. Ce mode de mouvement est donc totalement différent des ondes d'inflexion de l'eau.

Un ébranlement communiqué à l'air, à partir d'un point, et dans toutes les directions, détermine une onde sphérique d'air condensé, ayant la forme d'une boule creuse, qui s'étend d'une manière uniforme en tous sens, et conserve par conséquent sa forme sphérique. Une sphère qui se dilaterait tout à coup dans l'air, produirait une onde de ce genre. Les molécules de l'air repoussées par la boule qui se distend, acquièrent un mouvement correspondant à cette distension dans la direction du rayon, et pendant le moment qui succède im-

médiatement, lorsque la boule, revenant sur elle-même, détermine une raréfaction à sa périphérie, elles y acquièrent un mouvement en sens inverse. Toutes les molécules de l'air à travers lequel passe l'onde sphérique acquièrent ainsi le même mouvement. Mais l'amplitude de l'excursion que ces molécules font en avant et en arrière, et qui, en la comparant avec les ondes de l'eau, correspond à l'élévation de la protubérance de l'onde, diminue à mesure que l'onde avance, tandis que l'épaisseur de celle-ci demeure la même pendant son expansion, absolument de même qu'une onde sphérique produite sur l'eau s'abaisse, tout en conservant la même largeur, à mesure qu'elle prend de l'extension. La sphère creuse de l'onde progressive croît donc en raison proportionnelle des quarrés de son diamètre. La protubérance de l'onde diminue dans le même rapport. C'est ce qui fait que l'intensité du son diminue à l'air libre, en raison de l'accroissement des carrés des distances comprises entre l'onde sonore et le lieu de son origine. Il n'y a pas de motif pour que ce décroissement ait lieu à l'égard du mouvement ondulatoire de l'air dans un tuyau.

Si le corps ébranlant ou vibrant n'imprime point à l'air libre un choc en tous sens, comme ferait une sphère qui se dilaterait, mais qu'il ne lui en donne que dans une seule direction, l'onde résultante de là est également sphérique, tout comme une onde, déterminée sur l'eau par un choc en un seul sens, n'en marche pas moins dans toutes les directions, et affecte conséquemment une forme circulaire. Cependant la grandeur de la protubérance de l'onde, ou l'amplitude de l'excursion que font les molécules de l'air à travers lesquelles passe l'onde, est plus forte dans la direction du choc, parce qu'elle dépend en partie de cette direction elle-même. D'après cela, si les ondes sonores affectent une direction quelconque dans le corps résonnant, comme cela a lieu lorsqu'une corde ou une colonne d'air vibre, le son est également plus fort et plus distinct dans cette direction. Il me paraît que la circonstance

suivante contribue aussi à cet effet dans certains cas. L'onde d'un milieu susceptible d'éprouver le mouvement ondulatoire peut, lorsque l'ébranlement agit sur ce milieu dans une certaine largeur, être considérée comme composée d'ondes circulaires de même diamètre, placées les unes à côté des autres. Ces ondes se couvrent dans une direction parallèle à la largeur de l'ébranlement, mais elles ne se couvrent point à leurs extrémités libres. L'onde est donc plus forte dans une direction perpendiculaire à la largeur de l'ébranlement.

La force avec laquelle le son est conduit dépend, toutes choses égales d'ailleurs, du rapport entre le corps résonnant et le corps conducteur. Plus il y a d'homogénéité entre ces deux corps, plus aussi la communication est parfaite; moins ils sont homogènes, plus la communication est imparfaite. L'air résonnant, par exemple, celui d'un instrument à vent, transmet si parfaitement ses vibrations à l'air extérieur, qu'il n'y a point de renforcement opéré par d'autres milieux; mais il les communique difficilement à des corps solides. Les corps solides, au contraire, transmettent incomplétement leurs vibrations à l'air, et complétement à d'autres corps solides. De plus, lorsque les vibrations passent d'un milieu dans un autre qui n'est point de même nature, elles sont, comme la lumière, en partie transmises et en partie réfléchies. Ceci explique pourquoi des massifs de rochers font obstacle au son excité dans l'air, tandis que le son d'un corps solide, par exemple, d'une verge, est transmis avec plus de force à l'oreille par un cordon que par l'air. Suivant Wheatstone, on peut, au moyen d'un fil métallique, conduire les sons d'un instrument à cordes sur un foyer de résonnance éloigné.

A part les différences qui viennent d'être signalées dans la force de la propagation, un son peut devenir, par le fait de la résonnance, plus fort qu'il ne l'était dans le corps sonore lui-même. La résonnance provient de l'agrandissement de la surface des parties homogènes vibrantes; c'est pourquoi le

diapason résonne avec plus de force quand on le place sur un corps solide. Là-dessus repose aussi l'effet du chevalet et de la caisse dans les instrumens à cordes.

La résonnance est plus forte avec un corps limité qu'avec un corps non limité. En effet, le premier réfléchit les ondes sonores en partie par ses bords et ses surfaces, et ces ondes rétrogrades se croisent avec les nouvelles ondes excitées par le corps sonore; mais quand les protubérances des ondes se croisent, leur élévation devient plus considérable.

B. *Ondulations stationnaires dans les corps conducteurs du son.*

Des vibrations stationnaires naissent dans les corps conducteurs du son, limités, et en même temps élastiques. Il a déjà été dit précédemment qu'un corps conducteur limité réfléchit les ondes progressives par ses bords et par ses angles, que par conséquent les ondes qui viennent et celles qui reviennent se croisent. Un corps résonnant ne se partage pas nécessairement en parties aliquotes, de sorte que la largeur de ces ondes ne dépend pas de lui, mais des corps qui produisent le son. Dans un corps qui produit du son, les ondes qui naissent sont toujours des parties aliquotes de son tout. Mais un corps conducteur limité peut se partager lui-même, comme un corps sonore, en portions plus ou moins étendues, par la formation de nœuds et de lignes nodales. Ainsi, par exemple, il se forme de ces lignes nodales, d'après les expériences de Savart, sur des membranes tendues et conduisant le son, lorsqu'on les soupoudre d'une poussière légère. Des plaques offrent le même phénomène quand on les met en communication avec le corps producteur du son, par le moyen d'une verge, ainsi que l'a fait voir Savart.

Le son d'un corps peut, sous certaines conditions, non seu-

lement provoquer de la résonnance dans un corps élastique limité, mais encore exciter celui-ci à produire du son par lui-même, auquel cas le dernier corps donne le son qui lui est propre, et qui diffère du premier. Les cordes tendues sont susceptibles de résonner ensemble dans le ton qui leur appartient en propre. Il paraît être nécessaire pour cela non seulement que l'élasticité soit portée à un haut degré, et la limitation bien tranchée, mais encore que les ondes du premier son soient dans un rapport simple avec celles du son fondamental du corps consonant.

Enfin, un corps élastique et limité peut aussi, dans des conditions déterminées, modifier l'élévation du son d'un corps sonore par lui-même, lorsque les deux ordres de vibrations se modifient réciproquement pour former des ondes qui ne seraient propres ni à l'un des deux corps ni à l'autre. Ainsi la colonne d'air qui résonne en même temps qu'une languette, modifie le son de cette dernière. J'ai observé un autre exemple remarquable de cette action réciproque dans un sifflet dont je bouchais l'extrémité ouverte avec une membrane (une vessie de cochon). On sait qu'un sifflet d'un pied, fermé à l'extrémité par un bouchon, donne l'ut_3 pour son fondamental; mais si l'on remplace le bouchon par une membrane médiocrement tendue, le son fondamental, lorsqu'on souffle aussi faiblement que possible, au lieu d'être l'ut_3', devient plus grave d'une tierce à une quinte; si la membrane est plus tendue, le son fondamental s'élève; et, au plus haut degré possible de tension, cette membrane agit comme un bouchon solide.

Les liquides conducteurs du son, lorsqu'ils sont en contact immédiat avec les corps sonores, montrent encore, à leur surface, des ondes d'inflexion particulières, qu'il faut bien distinguer des ondes condensantes de la conduction du son. Il s'établit, en effet, sur leur surface, de petites élévations et dépressions onduleuses régulières, comme des ondes station-

naires. Ces phénomènes ont été décrits par OErsted, Purkinje, Chladni, G. Sœmmerring et Faraday (1).

Si l'on fait vibrer dans l'air un diapason tenu horizontalement, et dont un côté soit convert d'une couche d'eau peu épaisse, on voit se produire, dans celle-ci, les plus belles ondes stationnaires parallèles, qui, pour la plupart, occupent toute la largeur du diapason, et ont environ trois quarts de ligne de long. Ce sont en quelque sorte les reflets des vibrations du corps sonore, provenant des mouvemens que ces vibrations communiquent aux molécules de l'eau. Si l'on tient le diapason résonnant par une de ses faces dans un vase plein d'eau, on voit partir de ses côtés des divisions parallèles très-régulières du liquide, absolument comme si l'eau qui le touche entrait simultanément avec lui dans un mouvement ondulatoire, qui ne serait que la continuation ou le prolongement des ondes de l'instrument. Si la surface large de ce dernier est au dessus de l'eau, ou couverte seulement d'une couche mince, mais que les côtés plongent dans l'eau du vase, on reconnaît que les ondes à la surface du diapason et celles dans l'eau du vase sont des prolongemens les unes des autres. Mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que, quelque face du diapason qu'on immerge, on aperçoit toujours dans l'eau des ondes stationnaires dont les limites sont perpendiculaires à la surface de l'instrument; il n'y a d'exception que pour les bords, où les lignes deviennent divergentes.

Le phénomène a lieu aussi dans des vases résonnans pleins d'eau, par exemple dans des verres qu'on fait parler avec un archet de violon; la masse de l'eau se trouve alors, comme le verre, partagée, suivant l'élévation du son, en quatre, six ou huit parties, avec des lignes nodales entre lesquelles s'aperçoivent, lorsqu'on passe légèrement l'archet, des ondes

(1) *Voyez* Sœmmerring, dans Kastner, *Archiv fuer die gesammte Naturlehre*, t. VIII, p. 91.—Faraday, dans *Philos. Trans.*, 1831, 319.

stationnaires, dont les limites sont perpendiculaires à la surface intérieure du vase. En frottant plus fort, il se produit d'autres fignres, et le croisement des ondes donne lieu à des ondes stationnaires rhomboïdales. La largeur des ondes est rigoureusement proportionnée à l'élévation du son; elles sont plus larges pendant les sons graves. Du reste, l'eau s'accumule aussi dans les portions vibrantes du verre, et quand on passe l'archet avec force, elle est lancée par jets au dehors. Si l'on met le verre en vibration par le frottement du bord avec le doigt, les portions vibrantes et les lignes nodales se déplacent continuellement, et suivent en tournant le doigt qui imprime le mouvement.

Les lames de verre couvertes d'une mince couche d'eau présentent le phénomène d'une manière plus belle encore, quand on les frotte avec un archet.

Si l'on fixe un morceau de liége sur la peau d'un tambour, qu'on y assujétisse une petite baguette de bois terminée par une plaque ronde ou carrée, et qu'on place le tambour de manière que la plaque de la baguette trempe aisément dans l'eau, on voit, lorsque la membrane vibre, se former dans le liquide des ondes semblables, dont les limites sont perpendiculaires au côté de la plaque. Aussi obtient-on une figure étoilée dans l'eau lorsque la plaque est ronde. Il n'est pas possible jusqu'à présent d'expliquer ce phénomène d'une manière satisfaisante.

Faraday dit que la plus légère différence possible dans une circonstance quelconque pourrait occasioner; pendant les vibrations d'une plaque, une élévation ou une dépression du liquide, et donner ainsi la première impulsion au phénomène. Mais je ne crois pas qu'on parvienne à expliquer des effets si réguliers par-là et sans une subdivision régulière ou sans un mouvement ondulatoire dans le corps sonnant, bien que ceci ne conduise pas non plus à une explication satisfaisante.

Du reste, pendant la condnction du són, les ondes sont con-

densantes, dans l'eau aussi bien que dans l'air. Mais les ondes dont il vient d'être parlé à la surface du liquide sont des ondes de soulèvement ou d'inflexion.

La vitesse de la propagation du son dépend de la densité et de l'élasticité des corps. Dans l'air sec, elle est, à la température de zéro, de 332,49 mètres par seconde. La chaleur l'augmente. Dans l'eau, la propagation de son a lieu près de quatre fois plus rapidement que dans l'air. Les corps solides l'effectuent avec plus de vitesse encore. Le fer conduit le son dix fois et demie plus vite que l'air, et le bois onze fois.

Sous le rapport de la réflexion, les ondes sonores se comportent comme les ondes lumineuses. Quand elles passent dans un milieu différent, elles sont en parties transmises et en parties réfléchies. Une montre placée au foyer d'un miroir concave fait entendre ses battemens dans le foyer d'un autre miroir concave, qui réunit les rayons sonores. Comme les ondes sonores de l'air se communiquent aux corps solides avec plus de difficulté qu'elles ne continuent à marcher dans l'air, la force du son se conserve parfaitement dans un tuyau de communication, comme aussi les ondes sonores transmises à un corps solide en forme de baguette conservent leur force presque sans changement à de grandes distances. Un porte-voix représente une parabole au foyer de laquelle le son est excité; en vertu de la réflexion qu'ils éprouvent sur les parois de cette parabole, les rayons sonores marchent dans des directions qui sont parallèles à l'axe. La cause du grossissement de la voix tient en grande partie à la coïncidence des ondes primitives avec les ondes réfléchies, d'où résultent de plus grandes condensations. Mais il faut avoir égard aussi à la résonnance de la masse d'air limitée dans le tube. Car l'air d'un tube ouvert à ses deux bouts ou à l'un, résonne lorsqu'il conduit le son. Le cornet acoustique se rétrécit du côté de l'oreille; en conséquence, il condense les ondes sonores. Si ses parois sont paraboliques, et que l'oreille se trouve proche du

foyer de la parabole, les ondes sonores dont les directions sont parallèles à l'axe de cette dernière, se réunissent en un point voisin de l'oreille. Un retentissement a lieu lorsqu'à distance plus grande de la paroi réfléchissante, les ondes réfléchies parviennent à l'oreille sensiblement plus tard que les ondes primitives. Si la différence est assez considérable pour que les deux sortes d'ondes ne s'accollent plus l'une à l'autre, il y a écho.

CHAPITRE II

Des formes et des propriétés acoustiques des organes auditifs.

I. Formes de l'organe auditif.

On ne connaît pas de parties comparables à l'organe auditif chez la plupart des animaux sans vertèbres, et l'on peut même douter, pour certains d'entre eux, qu'ils entendent ; car de ce qu'un être réagit à l'occasion de vibrations, il ne s'ensuit pas qu'il a perçu un son, puisque ces vibrations peuvent être senties aussi par le toucher, comme ébranlement (1).

Ce qu'il y a de plus essentiel dans l'organe auditif est, en tous cas, le nerf spécifique de l'audition, qui a la propriété de percevoir les chocs comme son ; vient ensuite un appareil capable de bien conduire ces chocs à l'organe auditif. Mais, toutes les matières conduisant les vibrations sonores comme ondes de condensation, il peut ne point y avoir d'appareil conducteur spécial. On explique ainsi pourquoi il n'a pas été jusqu'ici découvert d'organes particuliers d'audition chez un si grand nombre d'animaux invertébrés. Le nerf auditif, quoiqu'étant seulement appliqué contre les parties solides de

(1) *Voyez*, sur les parties comparées à l'organe auditif, chez les Insectes : Comparetti, *Observ. anat. de aure interna comparata*, Padoue, 1789.—Treviranus, dans *Annalen der Wetterauischen Gesellschaft*, t. I. —Ramdohr, dans *Magazin der Gesellschaft naturforschender Freunde*, Berlin, 1811, p. 389. — P. Lyonet, *Recherches sur l'anatomie et les métamorphoses de différentes espèces d'insectes*, Paris, 1832, in-4. fig.— Muller, *Physiologie des Gesichtssinnes*, p. 437.

la tête, devra sentir les vibrations communiquées à ces dernières, tout comme s'il était étalé sur un appareil spécial. La plus simple forme de l'organe auditif, comme appareil particulier, abstraction faite du nerf spécifique, est celle d'une vésicule pleine de liquide et sur laquelle se répand le nerf. Les vibrations sont amenées à celui-ci ou par les parties dures de la tête, ou en même temps par une membrane tendue au dehors. Telle est la forme qu'on rencontre, parmi les animaux articulés, chez les Crustacés, et parmi les Mollusques, chez les Céphalopodes.

Dans les Crustacés, l'organe est situé de chaque côté, à la partie inférieure de la tête, et près de l'article basal des grandes antennes extérieures. Il consiste en un vestibule osseux, dont la fenêtre extérieure est fermée par une membrane analogue à la membrane tympanique secondaire des animaux supérieurs. La cavité osseuse renferme un sac membraneux plein d'eau, à la surface duquel s'épanouit le nerf auditif.

L'organe auditif des Céphalopodes se compose d'un vestibule cartilagineux, simple excavation du cartilage céphalique, sans fenêtre ni membrane au dehors. On trouve, dans cette cavité un sac membraneux, sur lequel se répand le nerf auditif. Chez le Poulpe, la paroi interne du vestibule est lisse; chez la Seiche et le Calmar, elle est parsemée de petits tubercules mous, ou de prolongemens, qui maintiennent la vésicule nageante. Il y a une concrétion, une pierre auditive, dans l'intérieur de la vésicule (1).

Aucun animal vertébré n'a l'organe auditif aussi simple que ceux dont il vient d'être question. Jadis on croyait que les Lamproies ressemblaient sous ce rapport aux animaux sans vertèbres; mais je me suis assuré qu'elles ont un labyrinthe compliqué et deux canaux semi-circulaires. Du reste, l'or-

(1) *Voyez*, sur l'organe auditif de l'Ecrevisse et du Poulpe, E. H. WEBER, *De aure et auditu hominis et animalium*, Leipzick, 1820.

gane auditif suit une progression dans son développement et sa composition, depuis les Poissons jusqu'aux Mammifères (1).

A. *Poissons.*

Les Poissons manquent de limaçon et de caisse du tympan. Mais ils ont le labyrinthe membraneux, c'est-à-dire le sinus commun des canaux semi-circulaires, avec son appendice utriculiforme, qui existe la plupart du temps, et des canaux semi-circulaires. Le labyrinthe membraneux est logé, ou en totalité dans la substance du cartilage céphalique, comme chez les Poissons cartilagineux, Plagiostomes et Cyclostomes, ou en partie dans les os du crâne et en partie dans la cavité crânière, entre le cerveau et la paroi du crâne, comme chez les Poissons osseux, les Esturgeons et les Chimères.

Les principales différences, et les plus essentielles, chez les Poissons, sont les suivantes :

1° Il n'y a qu'un seul canal semi-circulaire, qui revient sur lui-même en forme d'anneau, et dont une partie, celle dans laquelle se répand le nerf auditif, correspond au sinus commun. Ce cas, qui a été observé pour la première fois par Retzius, est celui des Myxinoïdes (*Myxine* et *Bdellostoma*).

2° Il y a deux canaux semi-circulaires, dont chacun naît du sinus commun par une ampoule à trois tubérosités. Les deux canaux convergent en reposant sur la surface du sinus commun, et se réunissent en arcade : sur ce point ils communiquent une seconde fois avec le sinus par une fente ; ce dernier présente en même temps un appendice en forme de sac. Tel est le cas des *Petromyzon* et des *Ammocetes* (2).

(1) *Voy.*, sur sa structure chez les animaux vertébrés et chez l'homme, A. Scarpa, *Anatomicæ disquisiones de auditu et olfactu*, Ticini, 1789, in-fol. 8 pl. — Weber, *loc. cit.* — G. Breschet, *Recherches anatomiques et phy. sur l'organe de l'ouïe et sur l'audition dans l'homme et les animaux vertébrés*, Paris, 1836, in-4, avec 13 pl. — P.-J. Vidal, *De la physiologie de l'organe de l'ouïe chez l'homme*, Paris, 1837, in-8.

(2) G. Breschet, *Recherches anat. et physiol. sur l'organe de l'ouïe des poissons*, Paris, 1838, in-4, avec 17 pl.

Dans ces deux premières formations, le labyrinthe ne contient pas de pierres auditives.

3° Il y a trois canaux semi-circulaires disposés comme chez les animaux supérieurs, c'est-à-dire partant d'un sinus commun ; ce dernier a pour appendice le sac. Dans tous deux on trouve des concrétions, comme chez les Plagiostomes, ou de petites pierres auditives osseuses et dures, comme chez les Poissons osseux ; les unes et les autres sont libres. Le sac ne correspond point au Limaçon des animaux supérieurs et de l'homme, puisque le sinus commun offre, même chez ceux-ci, un petit appendice utriculiforme.

Les Plagiostomes ont de plus un prolongement du labyrinthe jusqu'au dessous de la peau.

Chez les Squales, la cavité du vestibule cartilagineux se prolonge seule jusque sous la peau, par l'ouverture existante à la région supérieure de la portion occipitale du crâne. Chez les Raies, au contraire, la cavité du labyrinthe cartilagineux et le labyrinthe membraneux se prolongent tous deux jusque sous la peau. Une fosse creusée dans la région moyenne de la portion occipitale du crâne, et qui est tapissée par une peau ou plus mince ou plus épaisse, contient quatre ouvertures, deux à droite et deux à gauche. Chacune des postérieures conduit au vestibule cartilagineux, et est close par une petite membrane. Chacune des antérieures appartient à la communication avec le labyrinthe membraneux. Entre les deux ouvertures du crâne et de la peau se trouvent effectivement deux sacs membraneux, de chacun desquels la cavité se prolonge jusque dans le sinus commun du labyrinthe membraneux par un canal qui traverse l'ouverture du crâne. Ce sinus auditif externe et son canal sont remplis de carbonate calcaire, dont on rencontre aussi des concrétions dans le sinus commun. La portion de sinus auditif qui adhère à la peau s'ouvre au dehors par trois petits canaux fort étroits, creusés dans les tégumens extérieurs. Les Chimères m'ont offert aussi une ouverture au

crâne et deux amincissemens correspondans à la peau ; mais l'ouverture mène dans la cavité crânienne, où se trouve placée une partie du labyrinthe.

Chez les Poissons osseux, la communication du labyrinthe osseux avec la surface extérieure à l'aide d'ouvertures au crâne fermées par des membranes, n'a lieu qu'exceptionnellement, par exemple dans deux espèces de Lépidolèpres, suivant Otto (1), et dans le *Mormyrus cyprinoides*, d'après Heusinger (2).

E.-H. Weber a découvert que le labyrinthe de plusieurs Poissons communique d'une manière indirecte avec la vessie natatoire (3).

Chez certains de ces animaux, tels que les *Cyprinus*, *Silurus* et *Cobites*, la communication a lieu par l'intermédiaire d'une chaîne d'osselets mobiles. Ainsi, par exemple, dans les Cyprins, les deux labyrinthes membraneux, formés du sinus commun, des canaux semi-circulaires et du sac à pierre, sont en connexion, par continuité des membranes, avec un sinus membraneux impair caché dans la base de l'occiput, qui se prolonge postérieurement et de chaque coté en une oreillette membraneuse, laquelle, placée à la surface de la première vertèbre, a une couverture en partie osseuse. A cette oreillette aboutit le premier osselet conchyliforme ; le dernier est uni avec l'extrémité antérieure de la vessie natatoire.

Chez les Sparoïdes (*Boops* et *Sargus*), il part, de l'extrémité antérieure de la vessie natatoire, deux canaux dont les extrémités en cul-de-sac sont fixées à des ouvertures particulières du crâne que bouchent des membranes.

Dans les Clupées, l'extrémité antérieure de la vessie se

(1) *Voy.* Muller, *Archiv*, 1836, LXXXIV.

(2) Tiedemann's *Zeitschrift*, t. II, p. 86. — Le *Lepidoleprus norwegicus* n'a pas cette ouverture.

(3) Meckel's *Archiv*, 1825, p. 324.

prolonge en un canal qui se bifurque. Chacune des divisions pénètre dans un conduit osseux de l'occiput ; là elle se bifurque encore une fois. Enfin chacun des petits canaux se dilate en une capsule osseuse. L'une de ces capsules contient seulement l'extrémité en cul-de-sac du prolongement de la vessie natatoire; mais, dans l'autre, à ce prolongement en cul-de-sac s'en adosse un du labyrinthe membraneux.

Le labyrinthe du *Myripristis* communique aussi, d'après Cuvier, avec la vessie natatoire. Le crâne est ouvert en dessous, et fermé seulement par une paroi membraneuse, à laquelle cette dernière pend.

La caisse du tympan et la trompe d'Eustache des animaux supérieurs, les cavités accessoires du nez chez ces animaux, les sacs à air des Oiseaux, et la vessie natatoire des Poissons, appartiennent du reste à une même classe, attendu qu'ils doivent naissance à des prolongemens pleins d'air du tube respiratoire et intestinal, qu'ils continuent plus tard de communiquer avec ces cavités par des conduits ou des ouvertures, ou qu'ils s'en isolent complétement comme la vessie natatoire de plusieurs Poissons, dont, avec le temps, s'efface le canal de communication avec le pharynx.

B. *Reptiles.*

A partir des Poissons, on trouve généralement au labyrinthe deux fenêtres qui tantôt ne communiquant point avec une caisse du tympan, sont seulement couvertes de peau et de muscles, et rappellent alors les deux prolongemens du labyrinthe conduisant sous la peau qui se voient chez quelques Poissons, tantôt sont en communication avec une cavité tympanique contenant de l'air. Le labyrinthe membraneux est situé en totalité dans l'intérieur des os du crâne. L'eau de ce labyrinthe ne contient que rarement de petites pierres auditives, comme chez quelques Reptiles, notamment ceux qui se rapprochent des Poissons (*Menobranchus*). La plupart du temps

on n'y trouve qu'une espèce de lait produit par des cristaux calcaires microscopiques.

La structure des organes auditifs offre de plus grandes variétés encore dans la classe des Reptiles. Chez ceux à peau nue, comme chez ceux à peau écailleuse, il y a des familles totalement dépourvues de caisse du tympan, et d'autres qui en ont une, avec une membrane du tympan et une trompe d'Eustache; mais les Reptiles de ces deux catégories diffèrent absolument sous ce point de vue que les nus n'ont qu'une seule fenêtre au labyrinthe et manquent de limaçon.

1. *Reptiles nus.*

La seule fenêtre que possèdent les Reptiles nuds, est la fenêtre ovale, fermée par l'étrier en forme de plaque ou de cône. La fenêtre ronde n'existe pas, non plus que le limaçon.

a. Reptiles nus sans caisse du tympan.

Leur osselet de l'ouïe est la plaque de l'étrier, couverte par les muscles et la peau. Le labyrinthe membraneux consiste, comme chez le plus grand nombre des Poissons, en un sinus commun et en trois canaux semi-circulaires. Ici se rangent les Cécilies (*Cæcilia*, *Epicrium*), les Dérotrètes (*Amphiuma*, *Menopoma*), les Protéïdes (*Proteus*, *Menobranchus*, *Siren*, *Axolotes*, et vraisemblablement aussi *Lepidosiren*), les Salamandrides (*Salamandra*, *Triton*), enfin les Bombinateurs parmi les Batraciens ou Reptiles nuds anoures (1).

b. Reptiles nus pourvus d'une caisse du tympan.

Ceux-là possèdent une membrane du tympan, tantôt libre et tantôt cachée sous une peau épaisse, et deux à trois osselets de l'ouïe, savoir le marteau, uni à la membrane du tympan, et qui ne représente qu'une petite plaque cartilagineuse,

(1) Windischmann, *De penitiori auris in amphibiis structura*, Bonn, 1831.

l'enclume osseuse et l'étrier. La trompe d'Eustache, prolongement de la cavité gutturale, existe ici, comme elle le fait toujours quand il y a une caisse du tympan. Tel est le cas de tous les Batraciens, ou Reptiles nus anoures, à l'exception des Bombinateurs.

C'est parmi les Reptiles nus anoures qu'on observe les plus grandes différences eu égard à la partie extérieure de l'organe auditif.

1° Il y a des Batraciens sans caisse du tympan, membrane du tympan, ni trompe d'Eustache. Tels sont les Bombinateurs, ou les genres *Bombinator* (*igneus*), *Cultripes* de Muller (*C. provincialis*), et *Pelobates* de Wagner (*P. fuscus*, W., qui est le *Cultripes minor*, M.).

2° Il y a des Batraciens qui ont une membrane du tympan visible à l'extérieur ou cachée sous la peau, une caisse du tympan, la plupart du temps membraneuse, trois osselets de l'ouïe, et une ouverture pour chacune des deux trompes d'Eustache séparées l'une de l'autre (1). Ici se rangent la plus grande partie des genres de Grenouilles et de Crapauds, tels que, parmi les nôtres, *Rana*, *Bufo*, *Alytes*, etc.

3° Il y a des Batraciens pourvus d'une membrane du tympan cartilagineuse, d'une caisse du tympan totalement circonscrite par des os, de deux osselets de l'ouïe, et d'une seule ouverture, dans le milieu du palais, pour les deux trompes d'Eustache. Cette catégorie ne comprend que les genres privés de langue, *Pipa* et *Dactylethra*. Des trois osselets de l'ouïe qui existent chez les Batraciens précédens, le premier est devenu la membrane cartilagineuse du tympan, le second a la forme d'un très-long pédicule arqué, et le troisième est un appendice à peine perceptible du second, qui a la forme d'une petite feuille, et qui bouche la fenêtre (2).

(1) A. Dugès, *Recherches sur l'ostéologie et la myologie des batraciens à leurs différens âges*, Paris, 1835, in-4, p. 39.

(2) *Voy.* Muller *Archiv*, 1836, LXVII.

2. *Reptiles écailleux.*

Les Reptiles écailleux ont les deux fenêtres, et leur limaçon, si l'on excepte celui des Chéloniens, présente la structure de celui des Oiseaux.

a. Reptiles écailleux sans caisse du tympan.

L'osselet de l'ouïe est la plaque de l'étrier, qui s'étend en un pédicule plus ou moins long (columelle). Ce pédicule et les fenêtres sont couverts par des muscles et par la peau. On rencontre cette disposition dans les Ophidiens, comme aussi dans les genres *Chirotes*, *Lepidosternon* et *Amphisbæna.*

b. Reptiles écailleux pourvus d'une caisse du tympan et d'une trompe d'Eustache.

On trouve chez eux la columelle des précédens, dont l'extrémité est fixée à la membrane du tympan par une masse fibro-cartilagineuse. Ici se rangent les Chéloniens, les Crocodiles, les Lézards. C'est aussi le cas des Sauriens apodes pourvus de paupières, *Bipes, Pseudopus, Ophisaurus, Anguis, Acontias* (1). Chez la plupart de ces animaux, la membrane du tympan est visible à l'extérieur : il s'en trouve cependant quelques uns, parmi les derniers, chez lesquels elle est couverte par la peau.

C. *Oiseaux.*

L'organe auditif des Oiseaux ressemble à celui des Crocodiles et des Lézards sous la plupart des rapports, par exemple dans la structure de la caisse du tympan, de la columelle et du limaçon. La caisse du tympan amène de l'air aux cavités des os de la tête, ce qui agrandit le volume des parois résonnantes. Le limaçon n'est point contourné ; c'est un canal presque droit, et terminé en cul-de-sac, qu'une cloison membraneuse très-délicate partage en deux conduits, la rampe du tympan et celle du vestibule. La cloison est tendue dans

(1) *Voy.* Muller, dans Tiedemann's *Zeitschrift*, 4. 2.

un cadre cartilagineux qui se réfléchit en forme d'utricule vers l'extrémité, et qui se comporte envers la lamelle de la cloison comme l'empeigne d'une pantoufle à l'égard de la semelle. La courbure de cette espèce de bouteille est continuée, sur toute la longueur du limaçon, par une membrane vasculaire plissée en travers. Ces plis ou rides sont ce que Treviranus a le premier décrit comme antant de petites lamelles isolées représentant des touches de clavecin. Le sinus commun des canaux semi-circulaires et la bouteille du limaçon contiennent une poudre cristalline de carbonate calcaire (1).

D. *Mammifères.*

L'organe auditif des Mammifères ne diffère en rien d'essentiel de celui de l'homme, et les différences de détail n'ont point, quant au plus grand nombre, assez d'importance physiologique pour que nous devions les mentionner ici. Le limaçon est toujours contourné, et possède une lame spirale, en partie osseuse, en partie membraneuse, qui court autour de la columelle. Il n'y a que celui de l'Ornithorhynque et de l'Echidné qui ressemble, sous tous les rapports, à celui des Oiseaux. La caisse du tympan d'un grand nombre de Mammifères représente une grande vésicule osseuse, qui est fermée la plupart du temps par l'os tympanique. Chez beaucoup de ces animaux, elle se prolonge dans d'autres os limitrophes (2). Quelques uns ont aussi un tympan supérieur, attendu que le rocher fait une saillie vésiculaire en haut et en arrière, comme dans les genres *Pedetes*, *Dipus* et *Macroscelides*. De cette manière, les espaces résonnans se tronvent agrandis. Les Cétacés et l'Ornithorhynque n'ont point d'oreille externe : la trompe d'Eustache des Dauphins s'ouvre dans le

(1) Huschke, dans Muller *Archiv*, 1835, p. 335. — G. Breschet, *Recherches anat. et phys. sur l'organe de l'audition chez les oiseaux*, Paris, 1836, in-8, avec 8 pl. in-4.—Muller *Archiv*, 1837, LXIV.

(2) Hagenbach, *Die Paukenhœhle des Sœugethiere*, Bâle, 1835.

nez, et le conduit auditif externe des Mammifères totalement aquatiques est extrêmement étroit.

J'ai fait connaître ailleurs les observations de Treviranus et de Gottsche sur la distribution des nerfs dans le Limaçon. De même que les fibres nerveuses s'y répandent sur la lame spirale, pour être entourés de deux côtés par la lymphe labyrinthique, de même aussi, d'après la découverte de Steifensand (1), ils s'épanouissent, dans les ampoules, sur une saillie, qui ne traverse pas l'ampoule de part en part, mais ne fait que s'élever dans son intérieur. Dans l'ampoule des Mammifères, il y a un renflement transversal, formant une cloison incomplète, qui correspond à l'épanouissement du nerf. Chez les Oiseaux, au contraire, on trouve sur cette cloison deux branches libres, l'une supérieure, l'autre inférieure, qui se terminent en forme de bouton, de manière que le tout représente une croix, dont les branches transversales sont adhérentes, tandis que les branches perpendiculaires sont libres. Dans la Tortue, la cloison, comme renflement, présente seulement dans le milieu une espèce de bosse. La cloison de l'ampoule antérieure repose obliquement sur la paroi de l'ampoule, et n'a point de bosse : dans l'ampoule externe il n'existe qu'une moitié de la cloison. Chez le Crocodile et les Lézards l'ampoule extérieure est comme dans la Tortue ; les autres ont la conformation en croix dans l'intérieur. La cloison des Poissons est un pli transversal renflé en bourrelet.

Toutes les dispositions acoustiques qu'on observe dans l'organe de l'ouïe ne sont que des appareils conducteurs du son, de même que celles qu'on voit dans l'œil sont des appareils conducteurs de la lumière. Comme toute matière quelconque conduit les ondes sonores, il faut que l'audition soit possible même dès les plus simples conditions, car tous les entourages matériels du nerf auditif doivent nécessairement lui amener

(1) MULLER, *Archiv*, 1835, p. 71.

le son. Dans l'œil, il fallait une certaine construction pour diriger les ondes lumineuses de manière à ce qu'elles prissent sur le nerf la même disposition que celle qu'elles affectent en partant de l'objet. Cette précaution était inutile pour l'organe auditif. Tous les milieux conduisent sans le moindre trouble, et malgré les croisemens les plus variés, les ondes sonores les plus diversifiées eu égard à leur direction comme à leur succession ; pourvu que ces ondes viennent à rencontrer l'organe et son nerf, elles arrivent infailliblement à la perception. La structure entière de l'organe auditif ne peut donc tendre qu'à un seul but, celui de faciliter la transmission des ondes et de les multiplier par résonnance. Or, tous les appareils acoustiques de l'organe se laissent effectivement ramener à ces deux principes.

Pour l'audition en elle-même, il n'est donc besoin ni de membrane du tympan, ni d'osselets de l'ouïe, ni de limaçon, ni de canaux semi-circulaires, ni même de vestibule et de lymphe du labyrinthe. Aussi toutes ces parties peuvent-elles manquer. L'organe auditif des animaux sans vertèbres est déjà réduit à une simple vésicule, qu'on ne rencontre même pas chez beaucoup d'entre eux, où le seul nerf spécifique paraît suffire. Tout corps conduit des ondes : le corps d'un animal et les entourages immédiats du nerf auditif les reçoivent dans le même ordre que le milieu conducteur du son les propage. On ne peut donc pas même prétendre que l'aptitude à distinguer l'acuité et la force relative des ondes exige des appareils particuliers ; mais la netteté et l'intensité absolue des sons augmentent à mesure que l'organe se développe davantage sous le point de vue acoustique.

La meilleure manière de comprendre la destination de ces appareils, est de les suivre depuis leurs formes les plus simples jusqu'aux plus compliquées, et d'examiner ce qui s'y ajoute peu à peu. On apprend ainsi à connaître les circonstances qui

sont indépendantes de telle ou telle autre, et celles qui sont étroitement liées ensemble.

III. Transmission du son jusqu'au labyrinthe chez les animaux qui entendent dans l'eau.

Chez les animaux qui vivent dans l'air, les ondes sonores de l'air arrivent d'abord aux parties solides de l'animal et de l'organe auditif, et de là elles passent à la lymphe du labyrinthe. La force de l'ouïe d'un animal qui vit et qui entend dans l'air doit donc dépendre du degré auquel les parties solides de son organe auditif sont aptes à recevoir des ondes aériennes, de la diminution que les excursions de molécules vibrantes éprouvent au moment où les vibrations passent de l'air dans les parties extérieures de l'organe auditif, et du degré d'aptitude de la lymphe labyrinthique à recevoir des vibrations des parties externes de l'organe auditif. La portion extérieure tout entière de l'organe d'audition est calculée, comme nous le verrons, dans la vue de rendre plus facile la transmission des vibrations de l'air à des parties solides, transmission qui présente en elle-même des difficultés.

Chez les animaux qui vivent et qui entendent dans l'eau, le problème est tout autre. Le milieu qui transmet les vibrations sonores est l'eau ; il les amène aux parties solides du corps de l'animal, d'où elles parviennent encore une fois dans l'eau, dans la lymphe du labyrinthe. Ici l'intensité de l'ouïe dépend du degré d'aptitude qu'ont les parties solides de l'organe auditif, que les ondes sonores doivent traverser en premier lieu, à recevoir des ondes de l'eau ambiante, pour les transmettre de nouveau à de l'eau, et de la diminution que les excursions des molécules vibrantes éprouvent pendant ce passage. Nous verrons encore ici que toute la partie extérieure de l'organe auditif est calculée dans le but de faciliter cette transmission.

Comme la transmission des ondes de l'air à des corps so-

lides, et celle de ces mêmes ondes de l'eau à des corps solides, sont fort inégales, et qu'elles sont fortifiées par des moyens fort différens, la nature a eu besoin de déployer pour cela des appareils tout autres dans la partie extérieure de l'organe auditif chez les animaux qui entendent dans l'air et chez ceux qui entendent dans l'eau, tandis que la partie interne de l'organe pouvait avoir et a effectivement beaucoup plus d'uniformité dans les deux cas. En général, le problème est plus simple chez les animaux qui vivent dans l'eau. Le cheminement des vibrations, depuis le milieu extérieur jusqu'au nerf, a lieu par trois conducteurs successifs, mais dont deux sont semblables, savoir d'abord l'eau extérieure, puis les parties solides de l'animal et de l'organe auditif, enfin l'eau du labyrinthe. Chez les animaux aériens, ce cheminement s'opère aussi à travers trois milieux différens tous les uns des autres : ce sont l'air, les parties solides de l'animal et de l'organe auditif, et l'eau du labyrinthe. C'est cette circonstance, sans qu'il soit nécessaire d'en chercher d'autre, qui fait que l'organe auditif des animaux aériens l'emporte généralement en complication sur celui des animaux aquatiques. Comme l'organe auditif de ces derniers, des Poissons par exemple, est d'ordinaire totalement entouré de parties solides, la première question qui se présente à résoudre est celle de savoir ce qui se passe pendant que des ondes sonores passent de l'eau dans des parties solides et sortent de celles-ci pour rentrer dans l'eau. Lorsque des ondes d'air sont transmises à des corps solides, une diminution considérable a lieu dans l'amplitude des excursions ou des chocs des molécules vibrantes, tandis que la communication des ondes de l'air résonnant à l'air, et celle des ondes d'un corps résonnant solide à d'autres corps solides, s'accomplissent sans la moindre diminution. Le plein son d'un corps solide, d'une corde par exemple (sans caisse résonnante), ne s'entend que quand des corps solides le conduisent du corps solide géné-

rateur aux parties solides de l'organe auditif, comme lorsqu'on interpose une verge entre le chevalet de la corde et l'oreille externe bouchée. Mais s'il y a de l'air entre le corps solide qui produit le son et l'oreille, le son est faible, parce que la transmission des ondes s'opère difficilement d'un corps solide à l'air, et qu'en pareil cas elle ne peut s'accomplir sans une diminution dans l'amplitude des excursions des particules vibrantes ou de l'ébranlement. Par contre, le son de l'air qui résonne, comme celui d'un instrument à vent, est parfaitement propagé par l'air, et porté par lui à l'organe auditif, mais il ne se communique à des corps solides que difficilement et avec une diminution de l'intensité des ébranlemens. Aussi n'entend-on jamais mieux le son d'un sifflet qu'en appliquant à l'oreille bouchée une verge qui s'étend jusqu'au voisinage de l'air résonnant. En est-il de même lors du passage des ondes de l'eau dans des corps solides? Y a-t-il également ici diminution de l'ébranlement? On n'a point encore fait de recherches à cet égard. L'imperfection dans laquelle a langui jusqu'à présent l'acoustique des organes auditifs, qui, pour parler plus exactement, existe même à peine, m'a déterminé à entreprendre une série d'expériences, dont je vais donner ici les résultats.

I. *Les corps solides reçoivent de l'eau, douées d'une plus grande force, les ondes sonores produites dans ce liquide lui-même.*

On emplit d'eau, jusqu'au bord, un vase de verre, de porcelaine, ou de bois. Une soucoupe nage sur l'eau, sans toucher le vase. On produit un son en faisant tomber un corps dans cette soucoupe. Si l'on se bouche bien les oreilles avec des boulettes de papier tordu, dont on a préalablement mâché le bout introduit dans le conduit auditif, et dont l'autre extrémité sèche sort de l'oreille, on n'entend le son que très-faiblement à travers l'air; mais, à travers une baguette de bois, ou mieux un tube de verre appuyé sur le corps solide qui

résonne et sur le bouchon de l'oreille, on l'entend extrêmement fort. Si ensuite on plonge dans l'eau du vase la baguette tenue contre l'oreille, pendant qu'on laisse tomber quelque chose dans la soucoupe, on entend de l'eau un bruit très-fort et pur, tel qu'il est propre à la soucoupe, et beaucoup plus fort que celui qui est transmis par l'air. Dans ce cas, les ondes sonores passent de la soucoupe, ou du corps solide, à l'eau, puis de l'eau à la baguette, et ensuite à l'organe auditif. On voit, d'après cela, non seulement que des corps solides qui résonnent transmettent leurs ondes sonores à l'eau avec une grande force, mais encore que l'eau les rend avec plus de force au corps solide, au bâton, par le moyen duquel on les entend. En tenant la baguette dans l'eau pendant l'expérience, ou touchant avec elle la paroi du vase extérieur, les conditions sont à peu près les mêmes. Le son passe de la soucoupe dans l'eau, et de celle-ci dans la baguette, soit immédiatement, soit par l'intermédiaire d'un second corps solide. Dans ce dernier cas, le son peut être un peu plus fort, parce qu'il faut alors faire entrer en ligne de compte la résonnance du vase extérieur.

II. *Les ondes sonores de corps solides se transmettent avec plus de force à d'autres corps solides mis en communication avec ceux-ci, qu'à l'eau ; mais la transmission des ondes a bien plus d'intensité quand elle s'opère de corps solides à l'eau, que quand elle s'accomplit de corps solides à l'air.*

Ce théorème découle très-facilement de l'expérience précédente. Car le son n'est jamais plus fort que quand la baguette communiquant avec le bouchon de l'oreille appuie sur la soucoupe flottante pendant qu'on fait sonner celle-ci. Le son de l'eau qui environne la soucoupe, et dans laquelle on plonge la baguette, est déjà beaucoup plus faible. Mais l'air conduit le son bien plus faiblement encore, puisque celui qui arrive au bouchon de l'oreille par son seul intermède, est très-faible proportionnellement au son qui, de la soucoupe elle-

même ou de l'eau, vient à l'obturateur par le moyen de la baguette.

III. *Les ondes sonores de l'air se transmettent très-difficilement à l'eau, et avec bien plus de difficultés qu'elles ne marchent dans l'air; mais elles se communiquent très-facilement à ce liquide par l'intermédiaire d'une membrane tendue.*

Personne n'ignore qu'on entend dans l'eau les sons qui sont excités dans l'air. Mais un autre fait que j'ai observé me semble avoir un grand intérêt : c'est qu'une membrane tendue, en contact avec l'eau et l'air à la fois, facilite à un degré extraordinaire le passage des ondes aériennes dans l'eau. Si je fais souffler dans un sifflet en laiton ou en bois, long d'un pied, et sans trous latéraux, de telle manière que l'extrémité inférieure plongé dans l'eau, et que je me bouche les deux oreilles, je n'entends que très-faiblement le son au moyen de la baguette plongée dans l'eau, alors même que la surface du liquide est perpendiculaire à l'axe du sifflet, et que par conséquent les ondes aériennes choquent l'eau d'une manière verticale. Mais si le bout inférieur du sifflet est entouré d'une membrane mince (vessie de cochon), qui soit peu tendue, qu'on plonge cet instrument dans l'eau, et qu'on souffle dedans, j'entends le son très-fort avec la baguette plongée dans l'eau et appuyée sur l'obturateur de mon oreille, principalement lorsque la baguette se trouve dans la direction du mouvement ondulatoire, ou dans celle du sifflet. Les sons que je discerne ainsi sont très-éclatans. Ceux qui conviennent le mieux pour l'expérience sont le son fondamental que le sifflet rend lorsqu'on y souffle aussi faiblement que possible, ou aussi l'un des sons moyens. On emploie pour conducteur une baguette de bois, ou mieux au tube de verre, d'un diamètre de six à huit lignes, dont on tient les parois parallèles à la direction des ondes sonores de l'eau. Si, tout en tenant le tube appliqué à l'oreille bouchée, on le promène çà et là dans l'eau, le son ne manque jamais de se renfler beaucoup chaque fois

qu'il passe devant la membrane du sifflet. Cet appareil est indispensable dans les expériences suivantes sur l'audition dans l'eau et sur la valeur acoustique de chacune des parties de l'organe auditif : il m'a rendu les plus grands services, et sans lui je ne serais arrivé à aucun résultat. Pour les sons aigus des sifflets le renforcement est peu ou point perceptible.

L'expérience qui vient d'être rapportée, prouve aussi que la propagation du son se comporte dans l'eau comme dans l'air, c'est-à-dire que les ondes d'impulsion sont plus fortes dans la direction de l'impulsion primordiale, quoique les ondes soient aussi, généralement, circulaires ou sphériques.

IV. *Des ondes sonores, qui se propagent dans l'eau et qui traversent des corps solides limités, ne se communiquent pas seulement avec force au corps solide, mais encore résonnent des surfaces de ce corps dans l'eau, de manière que le son dans l'eau, au voisinage du corps solide, est encore entendu fort là où il devrait être plus faible d'après la seule transmission dans l'eau.*

En exécutant l'expérience rapportée dans le paragraphe précédent, l'observateur dont les oreilles sont bouchées, et qui se sert d'un conducteur plongé dans l'eau suivant la direction d'un sifflet fermé à son extrémité par une membrane et plongé également dans le liquide, entend le son de cet instrument très-fort, lorsqu'il ne se trouve que de l'eau entre le bout du sifflet et le conducteur. Vient-on à interposer entre ces deux derniers corps une petite et mince planchette en bois, de manière que les ondes sonores aient à traverser de l'eau, puis la planchette, enfin de l'eau encore, pour parvenir jusqu'au conducteur, on entend le son, dans la direction du sifflet, avec autant ou presque autant de force que si la planchette ne se trouvait pas là ; mais on l'entend aussi avec assez de force, au voisinage des surfaces de la planchette entière, lorsque, sans toucher à celle-ci, le conducteur n'est mis en rapport qu'avec l'eau qui en avoisine les surfaces. Là

le son est plus fort que dans le reste de l'eau. Ce renforcement a lieu dans le voisinage de toutes les parois de la planchette, et on le remarque encore à une assez grande distance de la direction principale de l'ébranlement. Si l'on éloigne la planchette résonnante, le son n'est fort qu'aux endroits placés vis-à-vis du point sur lequel porte le choc des ondes du sifflet. La résonnance des parois du vase contenant l'eau est notable aussi dans leur voisinage, lorsqu'elles sont en bois.

V. *Des ondes sonores qui se propagent dans l'eau subissent aussi une réflexion partielle de la part des parois du corps solide.*

Cette proposition, qui nous servira dans l'acoustique du labyrinthe, a besoin d'être déjà développée ici. L'appareil précédemment décrit est celui à l'aide duquel on parvient le mieux à se convaincre de la réflexion partielle des oudes sonores dans l'eau. On plonge dans l'eau d'un grand vase le sifflet fermé par une membrane. Ce vase contient un cylindre de verre, long de six pouces, fermé à l'un de ses bouts, et également plein d'eau, qu'une personne embrasse avec ses mains, et tient de manière à ce qu'il ne touche point les parois du vase. On enfonce l'extrémité du sifflet dans l'orifice du cylindre, et l'on souffle faiblement dedans, pour en tirer le son fondamental. En tenant alors le conducteur dirigé aussi vers l'orifice du cylindre, sans qu'il touche ni ce dernier ni le sifflet, on entend, avec son secours, le son des ondes d'eau avec tout autant de force que s'il était opposé à l'orifice du sifflet. Cette force du son est une suite non pas seulement de la résonnance du cylindre, mais encore de la réflexion que ses parois déterminent : car elle reste la même quand on a rendu la résonnance du cylindre aussi faible que possible en le couvrant intérieurement d'une couche de suif, et assourdissant ses parois extérieures en les embrassant avec les deux mains. Au contraire, le son dans l'eau est beaucoup plus faible dans le liquide qui entoure le cylindre à l'extérieur.

VI. *De minces membranes conduisent le son dans l'eau sans affaiblissement, qu'elles soient ou non tendues.*

Si l'on place, dans l'eau, une cloison membraneuse entre le bout du sifflet fermé par une membrane et le conducteur tenu dans la direction de ce dernier, on n'aperçoit pas la moindre différence dans la force du son, tandis qu'il est partout faible dans les directions latérales. J'employai d'abord pour cloison une membrane tendue, un morceau de vessie de cochon étendu sur un large anneau. Mais les membranes non tendues, et simplement suspendues dans l'eau, donnent le même résultat. J'appliquai l'une sur l'autre plusieurs couches de vessie de cochon séchée et ensuite ramollie, je les comprimai ensemble, pour exprimer l'air compris entre elles, et je suspendis le tout dans l'eau. Alors même que la cloison se composait de quatre à huit lamelles superposées, je remarquais encore un peu de renforcement dans la direction du sifflet. Un plus grand nombre de membranes le rendait nul. Un morceau de peau humaine et la paroi de l'utérus d'une femme enceinte, qui avait trois lignes de diamètre, empêchaient tout renforcement, lorsqu'on les employait comme cloison, et le son n'était pas perçu derrière ces corps avec plus d'intensité que dans tout autre point de l'eau situé en dehors de la direction principale des ondes.

VII. *Les propositions III, IV et VI expliquent le phénomène de la transmission du son chez la plupart des animaux qui vivent dans l'eau et ne respirent point l'air.*

Lorsqu'après nous être bien bouché les oreilles, nous écoutons les ondes sonores de l'eau au moyen d'un conducteur en bois, nous nous plaçons précisément dans la situation du poisson, et nous entendons les sons de la même manière que lui. L'immersion de la tête dans l'eau est une chose inutile, et qui d'ailleurs ne permet pas de se livrer avec calme à l'observation. Le conducteur solide agrandit les parties solides de notre tête, et, comme chez le Poisson, les expose immédiatement

aux ondes sonores de l'eau. Le labyrinthe simple ou composé des animaux qui vivent dans l'eau, tantôt est entouré de tous côtés par les cartilages et les os du crâne, comme chez les Céphalopodes, les Cyclostomes et les Poissons osseux, tantôt communique avec la surface du corps de l'animal, et la communication a lieu au moyen d'une membrane, telle que la membrane tendue au devant de la capsule auditive des Crustacés, ou la peau amincie qui couvre la fenêtre des Plagiostomes, à la surface de la tête. Du reste, les os de la tête sont susceptibles aussi de résonnance dans l'eau, c'est-à-dire que les vibrations qui leur sont communiquées éprouvent une réflexion partielle de la part de leurs surfaces, et forment en eux-mêmes des ondes rétrogrades qui profitent au labyrinthe. Cette conséquence découle des faits mentionnés dans le quatrième paragraphe. Chez les Squales et les Raies, à squelette cartilagineux et mou, cette résonnance intérieure des parties solides de la tête est peut-être moindre que chez les Poissons osseux, et c'est peut-être là aussi ce qui a rendu nécessaire chez ces animaux la communication du labyrinthe avec la surface du corps par le moyen d'une membrane tendue sur une fenêtre. Dans les Cyclostomes, la capsule auditive fait partie des pièces solides du squelette; chez eux, elle est recouverte en outre par des muscles, qui doivent diminuer le pouvoir conducteur du son.

VIII. *Des masses d'air résonnent dans l'eau par des ondes sonores, lorsque l'air est renfermé dans des membranes ou des corps solides, et produisent par-là un renforcement considérable du son.*

Une personne était chargée d'exciter dans l'eau, au moyen du sifflet fermé par une membrane, des ondes sonores ayant une direction déterminée, tandis que, plongeant le conducteur dans le liquide, je le dirigeais vers mon oreille bouchée. Je suspendais alors dans l'eau, avec mes doigts, entre l'extrémité libre du sifflet et le conducteur, la vessie natatoire

d'un Gardon, de manière à ce qu'elle ne touchât ni l'un ni l'autre. Dans ce cas, le son perceptible avec le conducteur devient beaucoup plus fort que quand les ondes sonores ne parviennent à ce dernier, tenu d'ailleurs à la même distance, que par le seul intermédiaire de l'eau. Ceci prouve deux choses; d'abord, qu'au moyen de membranes interposées, le son passe très-facilement de l'eau à l'air et de l'air à l'eau, sans subir d'affaiblissement; ensuite, que, quand l'air est en même temps renfermé dans une membrane entourée d'eau de toutes parts, le son est singulièrement renforcé par la résonnance de cet air limité, attendu que les ondes sonores sont en partie réfléchies par les limites de l'air, et que de là naissent des ondes sonores plus fortes.

IX. *Des membranes remplies d'air résonnent dans l'eau, alors même que les ondes sonores sont communiquées à la vessie par des corps solides.*

Si l'on fixe la vessie natatoire d'un Gardon dans la fente d'une baguette, qu'on tienne celle-ci appliquée aux parois d'un vase, de manière que la vessie soit libre dans l'eau, et qu'ensuite on pose un diapason résonnant sur le bord du vase, le conducteur mis en communication avec l'oreille bouchée, fera entendre les ondes sonores transmises à l'eau avec beaucoup plus de force au voisinage de la vessie, que dans tout autre point du liquide placé à une même distance du lieu d'où part le son, et le son est aussi fort que si l'on rapprochait le conducteur des parois du vase dans l'eau.

Avec un air plus condensé, cette résonnance doit être plus forte. C'est ce qui suit déjà de la loi connue de la transmission du son dans l'air, savoir que l'intensité augmente avec la densité de l'air, et que le son d'une cloche s'affaiblit jusqu'à devenir imperceptible dans un espace où l'on raréfie l'air. Cependant les expériences directes avec une vessie natatoire n'indiquent qu'une très-petite différence lorsque l'air est comprimé et lorsque le sac est flasque. Pour faire l'expérience, j'attachais la vessie au tube d'une bonne seringue, à l'aide de

laquelle je pouvais la remplir d'air très-condensé. La vessie ne se distend presque pas, parce qu'elle est entourée à l'extérieur d'une membrane fibreuse.

X. *Des faits précédens, il suit que la vessie natatoire des Poissons est en même temps un appareil de résonnance pour les ondes sonores qui traversent le corps de l'animal.*

Cet espace plein d'air reçoit les ondes sonores de l'eau en partie par les organes mous du corps des Poissons, en partie par les os, spécialement par la colonne vertébrale, au devant de laquelle il est placé, et il devient le point de départ d'ondes de résonnance qui, elles-mêmes, se transmettent à leurs entourages, particulièrement aux os. On ne peut donc pas nier, en général, que la vessie natatoire ne contribue pour quelque chose à fortifier l'action du son sur l'organe auditif, même chez les Poissons dans le corps desquels elle n'a point de connexion avec cet organe. Mais partout où la connexion a lieu, soit par une chaîne d'osselets étendus jusqu'au labyrinthe, soit par l'adossement immédiat de la vessie natatoire au labyrinthe membraneux, cette vessie, comme caisse résonnante, comme condensateur et conducteur des ondes sonores qui rencontrent le corps entier, se lie de la manière la plus immédiate au labyrinthe, quant à sa manière d'agir. Cette fonction de sa part semble être devenue le but principal chez les Cobites, dont la très-petite vessie natatoire est logée dans une excavation vésiculeuse du corps de la seconde vertèbre, et entourée en grande partie de substance osseuse, tandis qu'en avant elle tient au labyrinthe par la chaîne des osselets de l'ouïe.

Comme l'aptitude à conduire et à résonner croît avec la densité de l'air dans la vessie natatoire, cet organe doit exercer une action plus forte sur l'ouïe dans les grandes profondeurs de l'eau, où il est considérablement comprimé par l'accroissement de la pression (1).

(1) Muller, *Physiologie des Gesichtssinnes*, p. 441.—*Comp.* Carus, dans *Bericht ueber die Versammlung der Naturf. in Iena*, Weimar, 1837.

Chez les Reptiles qui vivent dans l'eau, tels que les Protéides, les Amphiumes, les Ménopomes, les Tritons, les Bombinateurs, la transmission du son de l'eau à la lymphe du labyrinthe, indépendamment de celle qui a lieu par les os, n'est point favorisée par une fenêtre close d'une membrane, comme chez les Squales et les Raies, mais par une fenêtre garnie d'un petit couvercle mobile, la plaque de l'étrier. Cette plaque est fixée par une membrane au rebord de la fenêtre ; la peau et les muscles passent par dessus, de même qu'ils recouvrent les os de la tête. On parvient aisément, au moyen d'un appareil analogue, à se convaincre du grand rôle que cette fenêtre joue lorsqu'il s'agit d'entendre dans l'eau. Les principaux avantages qu'offre cette disposition ne sont cependant pas calculés pour l'audition dans l'eau, mais bien pour celle dans l'air, comme on le verra plus loin. La fenêtre n'aurait pas été nécessaire pour entendre dans l'eau. Les Reptiles qui viennent d'être nommés sont des animaux à la fois aériens et aquatiques.

III. Transmission du son jusqu'au labyrinthe chez les animaux qui vivent dans l'air.

La transmission du son avec une certaine intensité, depuis la surface du corps jusqu'à l'eau du labyrinthe, exige un appareil bien plus compliqué chez un animal qui vit dans l'air que chez les animaux aquatiques. Car la propagation du son de l'air aux parties solides qui entourent l'organe auditif et l'eau du labyrinthe, s'accomplit avec beaucoup plus de difficulté que celle du son de l'eau aux parties dures. Aussi trouve-t-on, chez la plupart des animaux aériens, deux fenêtres fermées, l'une par une membrane, l'autre par un couvercle solide. Presque tous ont aussi une caisse du tympan, une trompe d'Eustache et deux conduits menant au labyrinthe, l'un dans lequel la transmission s'opère de la membrane du tympan à l'eau labyrinthique par des corps solides, les osselets

de l'ouïe, la seconde dans laquelle elle s'accomplit du tympan secondaire, ou de la membrane tendue sur la fenêtre ronde, à cette même eau par l'intermédiaire de l'air. Les discussions dont nos ouvrages de physiologie sont pleins, relativement à celle de ces deux voies par laquelle a lieu la transmission, n'ont aucun sens aux yeux du physicien. L'air conduit, les membranes conduisent, les osselets conduisent; chacun fait par conséquent ce qu'il ne peut pas s'empêcher de faire. Deux transmissions simultanées d'espèce différente doivent naturellement fortifier l'impression. Les lois de cette communication n'ont point été trouvées jusqu'à présent. Le sujet va être soumis ici à un examen non moins détaillé que l'audition dans l'eau.

Pour apprendre à connaître la valeur acoustique de chaque portion d'organe, il faut l'étudier dans son développement graduel.

A. *Animaux aériens privés de caisse du tympan.*

Les animaux aériens privés de caisse du tympan ne sont presque jamais astreints à la seule transmission par les os de la tête. La communication de l'air à des parties solides est trop faible pour qu'elle pût suffire. Presque tous les animaux aériens, même ceux qui n'ont pas de caisse du tympan, possèdent des fenêtres qui mènent au labyrinthe, et chez les derniers, ces fenêtres sont couvertes par de la peau et des muscles. Le *Rhinophis* et le *Typhlops* sont les seuls chez lesquels je n'aie trouvé ni fenêtres ni osselets de l'ouïe.

I. *Les ondes sonores qui passent de l'air dans l'eau éprouvent une diminution considérable d'intensité, mais elles passent avec la plus grande force de l'air à l'eau par l'intermédiaire d'une membrane tendue.*

C'est là le phénomène fondamental d'où nous partons. La preuve, bien simple, est fournie par l'expérience qui établit que les sons d'un sifflet dont le bout plonge dans l'eau ne sont entendus que très-faiblement au moyen du conducteur adapté

à l'oreille bouchée, même lorsque les ondes sonores frappent perpendiculairement sur l'eau, tandis qu'ils sont très-forts quand l'extrémité du sifflet qui plonge dans le liquide est close par une membrane. Ceci explique de suite et clairement l'effet de la fenêtre et de sa membrane. Cette dernière fait que les ondes sonores se transmettent avec intensité de l'air à l'eau du labyrinthe, qu'il y ait ou non une caisse du tympan. Quand bien même la mince membrane de la fenêtre ronde est non pas libre à la superficie, mais couverte de peau et de muscles, comme chez les Ophidiens, ces tégumens ne constituent pas un obstacle essentiel, puisque, quand on ferme le sifflet avec plusieurs couches superposées de vessie de cochon, qu'on en plonge l'extrémité dans l'eau, et qu'on lui fait rendre le plus grave de ses sons, celui-ci s'entend dans l'eau, par le moyen du conducteur, avec beaucoup plus de force que quand le sifflet était clos par un bouchon adapté à son ouverture. Cette manière particulière d'agir des membranes ne dépend pas uniquement, comme on l'entrevoit sans peine, de leur minceur, mais elle tient aussi à la mobilité et à l'élasticité de leurs molécules. Le son s'affaiblit également dans sa transmission de l'air à un corps solide, que celui-ci soit épais ou mince, car l'obstacle n'a lieu qu'au moment du premier passage. Par conséquent, une membrane ne peut point, eu égard à ces sortes d'effets, être envisagée sous le simple point de vue d'un corps très-mince. De son aptitude spéciale à s'étendre, il dépend qu'elle reçoive facilement les ondes aériennes, comme si elle était elle-même air, et qu'elle les rende facilement à l'eau, comme si elle était eau.

Du reste, l'imbibition des membranes n'est point nécessaire pour ces phénomènes; quelque sèche que soit la membrane placée au bout du sifflet, la communication n'en est pas moins très-forte dès avant qu'elle ait pu s'imbiber d'eau. Ceci est applicable à la membrane de la fenêtre ronde chez les animaux pourvus d'une caisse du tympan.

II. *Les ondes sonores se transmettent de l'air à l'eau sans altération notable de leur intensité, alors même que la membrane tendue intermédiaire se trouve fixée par la plus grande partie de sa surface à un corps solide court, qui seul est en contact avec l'eau.*

Ce théorème explique l'action de la fenêtre ovale et de la plaque mobile de l'étrier qui la garnit, chez les animaux aériens dépourvus de caisse et de membrane du tympan, comme les Bombinateurs et les Ophidiens. Sur la membrane que j'avais tendue médiocrement à l'extrémité du sifflet, je collai un bouchon de liége qui avait six lignes de long et assez de largeur pour couvrir cette membrane jusqu'à une ligne du bord. Venais-je alors à plonger le bout du sifflet dans l'eau, et à tirer le son le plus grave, le conducteur, tenu dans le liquide, suivant la direction de l'instrument, transmettait ce son à mon oreille bouchée avec presque autant de force que quand le sifflet n'était fermé qu'au moyen d'une simple membrane. On remarque une différence dès que le conducteur ne se trouve plus dans la direction du sifflet et du bouchon; car alors le son devient beaucoup plus faible. Si, au contraire, on ferme entièrement l'extrémité du sifflet, en y introduisant un bouchon, qu'on la plonge dans l'eau, et qu'on fasse parler l'instrument, on n'aperçoit pas de renforcement dans la direction de ce dernier, et en pareil cas le même bouchon qui donnait lieu à une forte transmission de son lorsqu'il était limité et rendu mobile par un rebord membraneux, devient un obstacle à cette propagation.

Il suit de ces observations que les deux fenêtres, celle qui est bouchée par une membrane, et celle qui est close par l'étrier mobile, sont de très-bons conducteurs pour la transmission des ondes sonores à l'eau du labyrinthe.

Parmi les animaux aériens qui sont privés de caisse du tympan, les Bombinateurs, les Salamandres terrestres et les Cécilies n'ont que la fenêtre close par un couvercle; les Ophidiens, au contraire, en possèdent deux.

B. *Animaux aériens pourvus d'une membrane du tympan et d'osselets.*

III. ***Un petit corps solide, adapté à une fenêtre par un rebord membraneux qui lui permet une certaine mobilité, transmet les ondes sonores de l'air à l'eau (ou à l'eau du labyrinthe) beaucoup mieux que d'autres parties solides. Mais la transmission devient plus énergique encore lorsque le conducteur solide qui bouche la fenêtre, est fixé au milieu d'une membrane tendue que l'air baigne des deux côtés.***

Les vibrations aériennes se transmettent difficilement à des corps solides, et elles ne le font jamais sans éprouver une diminution considérable de leur intensité. Mais une membrane est facilement mise en mouvement par elles. On sait déjà, par les expériences de Savart, que de petites membranes tendues, celle du tympan elle-même, rejettent le sable lorsqu'un son fort vient à être excité dans leur voisinage. On peut également démontrer d'une manière directe, par des expériences, qu'une membrane tendue conduit les ondes aériennes avec beaucoup plus de facilité que d'autres corps solides limités, et que, ce qui n'est pas moins essentiel, la transmission des vibrations d'une membrane tendue à des corps solides limités s'accomplit fort aisément. La membrane du tympan n'a point encore été considérée sous ce point de vue, comme un intermédiaire entre l'air et les osselets de l'ouïe. Voici les expériences que j'ai faites.

Une membrane très-mince de papier tendue sur un gobelet rejette facilement la poussière de lycopode à l'approche du diapason résonnant et par suite de la communication des vibrations aériennes, tandis qu'un corps solide de quelque épaisseur ne donne point lieu à ce phénomène. Mais la membrane tendue transmet aussi, avec plus de facilité ou de force, les vibrations que l'air lui communique à des corps solides qui ne la touchent qu'en un seul point. Si l'on pose une lame de bois

sur la peau d'un tambour, par un de ses bouts, et qu'on embrasse l'autre bout avec la main entière, celle-ci sent très-distinctement les oscillations lorsque le diapason résonnant vient à être placé en liberté sur la peau. Mais, au milieu des mêmes conditions, la lame de bois, quand elle est isolée de la membrane, ne conduit que très-faiblement les vibrations transmises par l'air. Dans l'expérience suivante, on évite la résonnance de l'air que renferme la caisse du tambour. En tendant un papier fort mince sur un anneau que l'on saisit d'une main, on perçoit les oscillations dès que l'on approche le diapason de la membrane; la membrane étant enlevée, la main qui tient l'anneau ne sent plus les oscillations, même lorsqu'on approche beaucoup le diapason de ce dernier.

Fig. 65.

On peut, de la manière suivante, démontrer, d'uue manière plus péremptoire encore, l'intensité de la transmission du son au moyen des osselets de l'ouïe par l'intermédiaire d'une membrane recevant les vibrations aériennes. A l'extrémité d'un sifflet long d'un pied (*a*), on tend une membrane mince (*b*), par exemple une vessie de cochon, sur le milieu de laquelle on colle un petit morceau de liége supportant une tige mince de bois (*c*), dont l'autre extrémité porte aussi un disque de liége (*d*). On plonge le bout de la tige dans l'eau (*e*), puis l'on fait rendre au sifflet le son le plus grave, ou l'un des sons moyens. Le conducteur (un tube de verre large d'un demi-pouce) étant tenu appliqué par un bout à l'oreille bouchée, et plongé par l'autre bout dans l'eau, le son est entendu avec une force extraordinaire dans une direction perpendicnlaire à la plaque de liége, mais beaucoup plus faible dans les autres points du liquide. A l'aide de cette expé-

rience, on peut aussi se convaincre que les plus fortes ondes suivent une direction longitudinale dans la tige. Car lorsqu'on approche le conducteur d'un des côtés de cette tige dans l'eau, on entend bien le son un peu plus fort; mais il est fort éloigné d'avoir la même intensité que celle qu'il possède dans une direction perpendiculaire à la plaque de liége *d*. Si, toutes choses égales d'ailleurs, on remplace la membrane par un bouchon de liége enfoncé dans le bout du sifflet, on ne distingue dans l'eau aucun renforcement du son suivant la direction de la tige, ou l'on n'en aperçoit qu'un très-faible.

Fig. 66.

a
b
á
d

Le résultat est le même en tous points lorsqu'on imite la caisse du tympan en grand, et qu'on étudie la manière dont elle transmet le son de l'air à l'eau; *a* est le sifflet, et *a'* un tuyau de bois, qui peut être inséré dans le bout inférieur de l'instrument. Sur l'extrémité de ce tuyau, qui regarde le sifflet, est tendue une membrane (*b*), contre laquelle s'adosse la tige *c*. L'extrémité inférieure de cette tige est fixée à une plaque de liége (*d*), collée sur une membrane tendue au bout du tuyau, mais disposée de telle manière, qu'entre elle et les parois de celui-ci, il reste un rebord membraneux de la largeur d'une ligne. Le sifflet *a* représente le conduit auditif externe, par lequel les ondes aériennes sont amenées à la membrane du tympan *b*; l'espace plein d'air entre *c* et *a'* figure la caisse du tympan, et *cd* est l'étrier, mobile dans sa fenêtre. Si l'on plonge l'extrémité de l'appareil dans l'eau, et qu'on fasse parler le sifflet, on entend le son, dans la direction de l'étrier, avec autant de force que dans l'expérience précédente.

Les osselets de l'ouïe conduisent d'autant mieux les vibra-

tions qui leur sont communiquées, que ce sont des parties solides limitées par de l'air, et qui ne font pas corps avec les os du crâne ; car tout corps solide limité transmet les ondes sonores avec plus de force à sa propre substance qu'à ses entourages, ce qui fait que la dispersion est tout aussi sûrement évitée qu'elle l'est, lorsqu'il s'agit de vibrations aériennes, dans la colonne d'air limitée d'un tuyau de communication. Les vibrations de la membrane du tympan parviennent donc, par la chaîne des osselets, à la fenêtre ovale et à l'eau du labyrinthe, toute dispersion des osselets à l'espace plein d'air de la caisse tympanique étant évitée par la difficulté avec laquelle la transmission se fait des corps solides aux fluides aériformes. Comme la membrane du tympan, en sa qualité de corps tendu et limité, réfléchit elle-même les ondes par ses limites, et qu'ainsi il se produit sur elle des ondes de condensation croisantes, il faut aussi faire entrer en ligne de compte l'idée de résonnance. Les ondes fortifiées de cette manière agissent à leur tour sur la chaîne des osselets.

Il se présente maintenant une question, celle de savoir à quel genre appartiennent les vibrations de la membrane du tympan ; si ce sont des ondes d'inflexion, comme celles qui ont lieu dans les cordes vibrant en travers et dans les membranes, ou des ondes de condensation. Lorsqu'une corde ou une verge reçoit un ébranlement dans la direction de sa longueur, il ne survient pas d'inflexions, mais seulement une progression de condensations et de raréfactions successives : mais quand un corps suffisamment mince, une corde, une membrane, reçoit un ébranlement dans une direction perpendiculaire à sa longueur ou à son plan, il se produit des ondes d'inflexion qui, si le choc n'a lieu que sur un point du corps, vont et viennent du lieu de leur origine aux limites de ce corps, comme font les ondes de l'eau, ou si le choc a poussé devant lui la largeur entière du corps, occasionent des inflexions transversales ayant lieu dans toute cette largeur. De

pareilles ondes d'inflexion se forment-elles aussi dans des membranes conductrices de son, lorsque le choc tombe perpendiculairement sur elles, ou bien ne se produit-il alors que de simples condensations? Sans doute le sable et la poudre de lycopode sautillent sur des plaques et des membranes minces vibrantes qui conduisent du son, et même, comme l'a montré Savart, sur la peau d'un tambour dans le voisinage duquel on fait éclater des sons très-forts. Mais on ne peut pas conclure de là que le corps sur lequel ces substances se meuvent, fait une vibration d'inflexion; car une vibration de condensation pourrait également, comme choc, mouvoir des corpuscules légers, et l'onde de raréfaction qui passe dans l'air, peut aussi les entraîner avec elle. Les lignes nodales des plaques conductrices de son ne prouvent pas non plus des vibrations transversales; car un corps qui vibre par des ondes de condensation peut de même vibrer avec des nœuds, comme il arrive à l'air dans les sifflets. Des cordes qui conduisent le son d'une autre corde tendue auprès d'elles, ne vibrent pas, du moins à la vue, par des ondes d'inflexion. Il ne suit pas non plus de là que celles-ci n'existent point; car on ne les voit pas quand les excursions n'ont point une amplitude suffisante. Mais le tambour fournit une preuve plus certaine de la possibilité de cette vibration dans une membrane conductrice de son. Lorsqu'on met une des peaux de cet instrument en vibration par un coup frappé dessus, l'autre peau vibre très-distinctement en travers, avec des excursions considérables. Les vitres des croisées sont également exposées, quand on tire le canon, à être fléchies et même brisées par l'onde aérienne. Il ne s'agit donc que de connaître l'intensité de l'ébranlement communiqué par les vibrations sonores, pour savoir si un corps membraneux tendu et conducteur du son fera des vibrations d'inflexion. Par conséquent, la possibilité de ces vibrations, dans la membrane du tympan, ne saurait être mise en doute, quoique le peu d'étendue de cette

membrane fasse que l'amplitude des excursions de ses flexions soit toujours très-peu considérable, même sous l'influence des sons les plus forts. Pour parler avec plus de précision, la membrane du tympan exécute des vibrations transversales, toutes les fois que ses excursions, ou les mouvemens progressifs communiqués à ses molécules par une onde condensante de l'air, sont plus considérables que sa propre épaisseur; mais ce cas doit avoir lieu lorsque les chocs de l'air ont une certaine force. Comme les osselets de l'ouïe sont articulés et disposés de telle manière qu'un rapprochement est possible entre leurs extrémités les plus distantes, les excursions de la membrane du tympan ne sauraient être troublées par la chaîne de ces petits os. Même chez les animaux qui ne possèdent qu'un seul osselet, comme les Oiseaux et les Reptiles écailleux, l'extrémité de cet osselet, celle qui s'unit à la membrane du tympan, est mobile. De là il suit encore que l'articulation des osselets de l'ouïe n'est pas une simple conséquence des muscles qui s'y insèrent, ce que d'ailleurs l'anatomie comparée démontre, puisque les osselets de la Grenouille sont tout aussi bien articulés que ceux de l'homme, bien qu'ils n'aient pas de muscles.

Une étude plus approfondie de la propagation des ondes sonores dans le libre espace de l'air fait voir cependant qu'il n'y a que les forts ébranlemens qui puissent déterminer des vibrations d'inflexion dans la membrane du tympan. Si l'excursion des parties d'un corps qui produit du son, c'est-à-dire si l'ébranlement est assez considérable pour imprimer aux parties du corps ébranlant une vitesse aussi grande que la vitesse de propagation du son dans l'air, l'espace que les particules aériennes conductrices du son parcourent dans un tuyau, quand l'onde traverse le lieu qu'elles occupent, à la même étendue aussi que l'excursion du corps qui imprime le choc. Si la rapidité de l'impulsion n'est que la moitié de la vitesse du son dans l'air, l'excursion des particules vibrantes de l'air

dans un tuyau n'est non plus que la moitié de celle du corps d'où part l'impulsion. Cette excursion demeure d'ailleurs la même pour toutes les particules d'air que l'onde traverse. Ainsi, en général, des vibrations d'inflexion n'ont jamais lieu plus facilement dans la membrane du tympan que quand le son, accompagné de grandes excursions du corps qui le conduit, se propage avec la même force, par un tuyau, jusqu'à cette membrane. Mais la propagation du son dans le libre espace de l'air implique une diminution progressive des excursions des particules vibrantes de l'air. Si l'épaisseur des ondes demeure la même, c'est-à-dire si l'espace compris depuis le commencement d'une onde jusqu'à celui de l'onde la plus prochaine, ne change point malgré l'accroissement de circonférence de l'onde qui se distend en forme de sphère, cependant l'excursion des particules à travers lesquelles cette onde passe, diminue en raison des carrés des distances. Ainsi, par exemple, que l'excursion des particules vibrantes soit d'un pouce au voisinage immédiat du corps qui imprime le choc ou produit le son, elle sera d'un quart de pouce à deux pieds, d'un neuvième de pouce à trois pieds, d'un seizième de pouce à quatre pieds, enfin à dix pieds d'un centième de pouce, ou moindre que l'épaisseur de la membrane du tympan. Il faut de plus prendre en considération, dans la membrane du tympan, la différence qui existe entre la vitesse de propagation et celle de l'air, comme aussi la résistance de ses attaches, d'où il doit s'ensuivre une progression bien moindre, alors même que la particule d'air qui imprime le choc à cette membrane fait une excursion qui surpasse son épaisseur.

La vibration d'inflexion communiquée à la membrane du tympan par des ébranlemens très-considérables, embrasse toute la largeur de cette membrane, lorsque les ondes de l'air rencontrent perpendiculairement celle-ci; si elles la rencontrent obliquement, de manière à en toucher une partie avant les autres, le mouvement naîtra d'abord aussi sur ce

point, et s'étendra sur la membrane, de même que l'onde d'inflexion qui est excitée à l'extrémité d'une corde ou sur un seul point de la peau d'un tambour. Ces ondes auront un mouvement de va-et-vient entre les bords.

La disposition oblique de la membrane du tympan fait que cet effet doit avoir lieu, même quand les ondes sonores traversent le conduit auditif externe en ligne droite, ou quand les rayons sonores sont parallèles à son axe. Dans d'autres directions des ondes, il faut avoir égard à la réflexion par les parois du conduit, de laquelle dépendent la manière dont il se forme d'abord des ondes sur la membrane, et le point où elles s'y produisent en premier lieu.

Les mêmes lois s'appliquent à la propagation de simples ondes condensantes au travers de la membrane du tympan. Ou les ondes de l'air rencontrent cette membrane dans toute sa largeur à la fois, ou elles en frappent d'abord un seul point, et courent ensuite sur sa largeur, en suivant une direction déterminée par celle qu'elles avaient d'abord, et reviennent sur elles-mêmes pour former des ondes de condensation croissantes. Toutes les ondes qui sont amenées à la membrane du tympan par des parties solides, telles que le cartilage de l'oreille, les parois du conduit auditif, les os de la tête, sont naturellement aussi des ondes condensantes. La membrane du tympan devient aussi condensateur pour les ondes qui lui arrivent de parties solides quelconques.

Si l'onde de l'air est complexe, de manière que, pendant qu'elle marche, elle jette çà et là le maximum de sa condensation ou le sommet de sa protubérance, de même qu'une corde qui reçoit un choc à l'une de ces extrémités exécute ce mouvement en même temps qu'elle fait une vibration transversale, la membrane du tympan, qui partagera le même mouvement, produira aussi la modification du son qui en dépend, ou le timbre. La vibration d'inflexion de la membrane ressemblerait parfaitement en cela à celles de la corde dont il

vient d'être parlé, les ondes condensantes deviendraient une onde condensante droite s'avançant à travers la membrane, avec un maximum de condensation et de raréfaction flottant à droite et à gauche. Il est facile de voir que ces sortes d'ondes complexes doivent également être conduites sans changement par les osselets de l'ouïe.

La nécessité de la présence de l'air au côté interne de la membrane du tympan, ou celle d'une caisse tympanique, ressort d'elle-même. Sans cette condition, la membrane du tympan et les osselets de l'ouïe ne pourraient remplir la destination qui vient de leur être assignée. Sans elle, les vibrations de la membrane ne seraient pas libres, et les osselets ne seraient pas isolés comme ils doivent l'être pour effectuer une transmission concentrée. Autant la membrane transmet avec facilité ses vibrations d'inflexion à l'air de la caisse du tympan, autant la substance solide des osselets les rend peu susceptibles d'abandonner leurs ondes à l'air de la cavité, et de les y disperser. Mais il n'est pas moins nécessaire qu'une communication existe entre cet air de la caisse du tympan et l'air extérieur, par le moyen de la trompe d'Eustache, afin de rétablir l'équilibre de pression et de température entre l'air du dehors et celui du dedans.

La propagation des vibrations à travers les osselets de l'ouïe, jusqu'au labyrinthe, ne peut naturellement avoir lieu que par des ondes condensantes, alors même que la membrane du tympan fait des ondes d'inflexion. Ce n'est pas l'étrier tout entier qui, dans cette transmission, se rapproche et s'éloigne alternativement du labyrinthe, car il faudrait pour cela que l'eau de celui-ci fût très-compressible. Les excursions des particules vibrantes à travers lesquelles l'onde passe, ne sont que de très-petites fractions de la longueur de l'étrier.

Le manche du marteau reçoit les ondes de la membrane du tympan et de l'air dans une direction qui lui est presque perpendiculaire. Les ondes conservent aussi cette direction

dans toute la chaîne des osselets, quelle que puisse être la situation relative de cette chaîne et de ses pièces constituantes. Du manche du marteau l'onde se propage d'abord dans la tête, qui fait angle avec lui, puis elle passe dans l'enclume, dont la longue apophyse est presque paralèlle au manche du marteau, et de cette apophyse de l'enclume elle arrive à l'étrier, dont la direction est perpendiculaire à la sienne. (V. la figure 67; *aa* est la membrane du tympan, *b* le marteau, *c* l'enclume, *d* l'étrier). Toutes les inflexions dans la situation des osselets de l'ouïe ne changent point la direction du choc. Celui-ci conserve la même direction qu'il avait en passant du conduit auditif à la membrane du tympan et au manche du marteau, de sorte que l'étrier, qui est perpendiculaire à la membrane du tympan, éprouve des ébranlemens longitudinaux, qu'il transmet à la fenêtre ovale. C'est ce qui devient évident par les recherches de Savart sur la transmission du son à travers des plaques solides qui se joignent à angle.

Fig. 67.

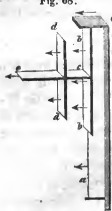


Fig. 68.

Si l'on fixe la plaque *b* fig. 68, sur le chevalet d'une corde *a* de manière qu'elle reçoive les vibrations de cette corde, elle entre, comme celle-ci, en vibrations transversales. Une plaque perpendiculairement établie sur elle *c* exécute des vibrations longitudinales, c'est-à-dire dans le même sens que celles de la plaque *b*. Les vibrations de la plaque *d* sont de nouveau transversales, quand elle-même repose perpendiculairement sur la plaque *e*, et enfin celles de la plaque *d*, perpendiculaire à la précédente, sont longitudinales. Savart a démontré le fait par la

direction suivant laquelle la poussière est lancée. La direction des vibrations a été indiquée par des flèches dans la figure. En comparant cette figure à celle des osselets de l'ouïe, qui la précède, on ne peut méconnaître l'analogie qui existe entre elles. La corde *a* de la figure de Savart est comparable à la membrane du tympan ; la plaque *b*, fixée sur le chevalet, représente le manche du marteau, qui, servant à tendre la membrane elle-même, en est aussi le chevalet ; la plaque *c* correspond à la tête du marteau, la plaque *d* à la longue apophyse de l'enclume, et la plaque *e* à l'étrier.

C. *Tension de la membrane du tympan.*

IV. *Une petite membrane conduit moins bien le son quand elle est fortement tendue que lorsqu'elle l'est peu.*

La question de savoir si la membrane du tympan conduit mieux le son dans son état de relâchement, ou dans celui de tension, peut s'étendre à toutes les membranes en général. Ici l'on doit de suite établir une distinction entre consonnance, résonnance et intensité de la transmission du son. Quant à ce qui concerne la consonnance, un corps élastique par tension en est susceptible lorsqu'il est tendu, et n'a plus cette aptitude lorsqu'il est détendu. Une corde tendue a, en certaines circonstances, l'aptitude à émettre le son qui lui est propre sous l'influence d'une autre corde vibrante, et, en général, elle est susceptible de résonnance. La peau tendue d'un tambour fortifie le son d'un diapason posé à sa surface, bien plus que ne le fait une membrane flasque. Mais, pour qu'un corps donne son propre son fondamental par consonnance, il doit être constitué de manière que le son fondamental qu'il rend soit à l'unisson avec le son primitif, ou du moins soit dans un rapport simple avec ce dernier. Autrement il ne fait que résonner, sans faire entendre le son qui lui appartient en propre.

La force de la résonnance dépend aussi, toutes choses égales

d'ailleurs, de la disposition d'un corps, et de son rapport avec le son primitif. Si l'on tient un diapason sur l'ouverture de tuyaux en carton de longueurs diverses, la résonnance de la colonne d'air est d'autant moins considérable, que le son fondamental de cette colonne diffère de celui du diapason, de sorte que c'est à une certaine longueur du tuyau que la résonnance a le plus d'intensité. Si la longueur de la colonne d'air est telle que le son fondamental de cette colonne soit égal au son primitif, il y a consonnance, et la résonnance aussi est forte, d'après Wheatston, quand la longueur de la colonne d'air est un multiple de celle de la colonne d'air qui donne le même son fondamental que le diapason. Car alors il peut se produire des nœuds de vibration dans le corps conducteur du son. On peut, en versant de l'eau dans un vase de verre, le disposer de telle manière qu'il rende fortement ou faiblement le son du diapason. Ceci appliqué aux cordes et aux membranes, il est bien certain qu'une corde ou une membrane absolument dépourvue de tension est incapable de résonnance, ou qu'elle en est moins susceptible qu'une corde, qu'une membrane tendue, mais la tension ne pourra pas croître en raison directe de la résonnance. Elle sera au plus haut degré, la masse du corps tendu demeurant la même, lorsque le son fondamental de ce corps sera à l'unisson du son primitif.

L'application ne serait pas très-facile à des membranes aussi petites que celle du tympan. Mais ce qui a beaucoup plus d'importance ici, c'est de savoir si l'intensité de la transmission de l'air à la membrane croît ou diminue avec la tension de cette dernière.

Savart est le premier, et jusqu'à présent il a été le seul, qui se soit occupé de résoudre ce problème par la voie de l'expérience. Il a observé qu'à l'approche d'un corps qui produit un fort bruit, une membrane sèche fait sauter plus haut le sable répandu à sa surface, quand elle est lâche que quand

elle est tendue; et il a conclu de là que l'ouïe s'émousse lorsque la tension de la membrane du tympan vient à augmenter. Il a remarqué le même effet lorsqu'il tendait davantage une membrane par le moyen d'un levier pesant sur elle. J'ai produit ce phénomène en tendant du papier sur un gobelet. Cependant la force du mouvement imprimé au sable ne prouve pas avec certitude que l'intensité des ébranlemens soit plus considérable. Muncke fait observer que le sautillement du sable peut seulement, sans provenir de l'intensité des tremblemens, dépendre de leur amplitude plus grande, et que le levier employé pour opérer la tension forme, dans la membrane, un nœud qui diminue la largeur des parties vibrantes. L'exactitude de la conclusion tirée par Savart a aussi été mise en doute par Fechner. Dans un tel état de choses, il m'a paru d'un grand intérêt de faire des expériences directes sur la faculté conductrice de petites membranes tendues et non tendues, en me servant de ma propre ouïe pour mesurer l'intensité de la transmission du son.

Un tuyau de bois (*a*), dont la lumière a huit lignes de diamètre, et dont la longueur est de quatre pouces, s'allonge, à l'un de ses bouts, en un col plus étroit (*c*), ayant une disposition telle qu'on puisse l'engager profondément et solidement dans le conduit auditif externe. Ce bout rétréci est ouvert. L'autre bout (*b*) est garni d'une membrane lâche. Sur la membrane est collée une petite règle mince (*e*), large de deux lignes, qui s'étend jusqu'au-delà de son milieu, et dont le bout le plus long se trouve libre en dehors. A l'endroit où la règle repose sur le bord du tuyau couvert de la membrane, elle y est fixée par une ligature, ce qui produit une articulation. Si l'on élève l'extrémité *d*, l'autre bout qui repose sur la membrane s'enfonce, déprime cette membrane, et la tend. Ainsi l'appareil représente, en général, les dispositions naturelles de

Fig. 69.

la membrane du tympan, et la règle peut être considérée comme figurant le marteau. En fixant le bout rétréci de cet appareil dans une oreille, et bouchant bien l'autre oreille avec une boulette de papier mâché, il devient facile de comparer l'intensité de la transmission de son suivant le plus ou moins de tension. Une très-petite ouverture pratiquée au tuyau en *d* permet de faire entrer aussi en ligne de compte l'influence de la trompe d'Eustache, et de mettre l'air de l'intérieur du tuyau en communication avec l'air extérieur. Cependant, le résultat est le même au fond, et il vaut mieux se passer ici de l'ouverture *d*, parce qu'il pourrait se faire qu'elle livrât passage à des ondes sonores, qui ainsi pénétreraient dans l'intérieur du tuyau et arriveraient à l'oreille sans traverser la membrane.

J'ai observé le même résultat dans tous les cas. La transmission du son était beaucoup plus intense quand la membrane était lâche, que quand je la tendais en soulevant la règle. On peut employer une montre de poche pour corps générateur de son. Cependant, tout bruit quelconque frappe l'ouïe avec plus de force quand la membrane est lâche, et la diminution de sa vivacité croit en raison directe de la tension de cette dernière.

On peut aussi tendre davantage sa propre membrane du tympan, et éprouver ainsi la même influence.

Il y a deux manières de tendre davantage la membrane du tympan sur le cadavre, abstraction faite de la traction du marteau. L'une consiste à raréfier l'air dans la cavité du tympan, en l'aspirant par la trompe d'Eustache, l'autre à condenser ce même air, en soufflant dans la trompe. Dans le premier cas, la membrane est repoussée de dehors en dedans, et dans le second, elle l'est de dedans en dehors, sans que, dans ce dernier cas, le manche du marteau cède, de sorte que le milieu de la membrane du tympan conserve sa situation, même lorsqu'il y a écart vers le dehors.

Rien n'est plus facile que de pratiquer ces deux modes de tension sur le vivant, sur soi-même. Il faut pour cela se boucher le nez et fermer la bouche, puis faire une expiration forte et soutenue, ou bien distendre la poitrine, d'une manière également forte et soutenue, par le mouvement d'inspiration. Dans le premier cas, l'air condensé pénètre avec bruit dans la caisse du tympan, et au moment même on entend mal. La même dureté d'ouïe a lieu quand la membrane vient à être tendue de dehors en dedans par l'effet de l'inspiration. Wollaston est le premier qui ait observé ce phénomène. Comme, dans le second cas, la dureté d'ouïe persiste même après qu'on a ouvert la bouche, parce que le collapsus des parois des trompes d'Eustache qui a été déterminé par l'inspiration précédente, ne permet pas à l'équilibre de se rétablir, on a aussi l'occasion de remarquer que même sa propre voix est moins bien entendue lorsque la membrane du tympan éprouve une tension plus considérable. Quand j'ai rendu la tension de la membrane plus grande par la condensation de l'air de la caisse du tympan, il arrive ordinairement qu'en ouvrant la bouche ou débouchant le nez l'équilibre renaît promptement entre l'air de la caisse et celui du dehors, de sorte qu'en général l'ouïe se rétablit sur-le-champ. Mais il arrive aussi quelquefois que le rétablissement a lieu d'une manière graduelle. Lorsqu'au contraire c'est en raréfiant l'air de la caisse du tympan que j'ai procuré plus de tension à la membrane, la dureté d'ouïe dure presque toujours fort long-temps, et pendant toute sa durée je sens très distinctement que mon tympan est tendu. Dans les deux cas, si la dureté d'ouïe et le sentiment de tension de la membrane ne se dissipent pas d'eux-mêmes à l'ouverture de la bouche, je puis les faire disparaître par un mouvement particulier dans l'oreille, que je démontrerai plus tard être un mouvement volontaire du muscle tenseur du tympan. Il est vraisemblable que l'écartement des parois amollies des trompes d'Eustache dépend d'une légère com-

pression que la traction de la membrane par son muscle tenseur exerce sur l'air de la caisse du tympan. Celui qui ne peut pas exécuter ce mouvement du muscle tenseur du tympan, parvient sans peine à se débarrasser de la dureté d'ouïe produite par l'une des deux méthodes en ayant recours au moyen inverse : si elle a été déterminée par le rejet de la membrane en dehors, il suffit de faire une forte inspiration en se bouchant le nez et la bouche ; dans le cas contraire, c'est à une forte expiration qu'il faut recourir.

Si l'air extérieur est très-condensé, sans que celui de la caisse du tympan puisse se mettre aussitôt en équilibre avec l'atmosphère, à cause de l'application exacte l'une contre l'autre des parois des trompes d'Eustache, la membrane du tympan est naturellement rejetée en dedans, elle éprouve une tension plus grande, et il y a alors dureté de l'ouïe. C'est ainsi, selon moi, qu'on doit expliquer l'énigmatique observation faite par Colladon dans la cloche du plongeur, où il n'entendait que faiblement et la voix de ses compagnons et la sienne propre. On ne saurait se rendre raison du fait en admettant, comme l'ont fait quelques personnes, que la transmission du son s'opère moins bien lorsque l'air extérieur est condensé, car il est constant que l'air condensé conduit mieux le son.

La dureté d'ouïe qui provient d'une plus grande tension de la membrane du tympan, n'est pas générale pour les sons aigus et pour les sons graves en même temps. Wollaston a observé que quand il accroissait la tension de son tympan, en raréfiant l'air de la caisse, il ne devenait sourd que pour les sons graves. S'il frappait du bout du doigt sur une table, la planche donnait un son grave sourd, mais s'il se servait de l'ongle, il entendait un son plus aigu et plus pénétrant : après avoir raréfié l'air dans la caisse de son tympan, il n'entendait que ce dernier son, et ne percevait pas l'autre ; le bruit sourd et grave d'une voiture n'était plus aperçu, tandis que celui des

chaînes et des autres pièces en fer de l'attelage l'était parfaitement. Ces expériences sont exactes, et je crois qu'avec un peu d'exercice, chacun pourra s'en convaincre sur soi-même. Du reste, il est à remarquer que la tension de la membrane du tympan par condensation de l'air produit le même résultat. Le bruit sourd d'une voiture qui passe sur un pont, celui du canon tiré au voisinage de mon habitation, celui enfin de tambours éloignés s'effacent instantanément lorsque mon tympan vient à être tendu de l'une ou de l'autre manière, tandis que j'entends très-bien le piétinement des chevaux et le craquement du papier. L'effet est très-remarquable à l'égard du tic-tac d'une montre placée à huit pieds de moi; je le distingue tout aussi bien et peut-être même mieux que dans l'état ordinaire quand mon tympan est tendu, tandis que cette tension éteint instantanément pour moi tous les bruits sourds de la rue.

L'explication de ces phénomènes ne présente aucune difficulté d'après ce qui précède. Plus le tympan est tendu, plus le son fondamental de cette membrane et tous les sons qu'elle pourrait donner avec des nœuds de vibration s'élèvent, mais plus aussi son pouvoir de consonnance relativement aux sons graves diminue. Plus un son est homologue au son propre du tympan très-tendu, plus on l'entend facilement lorsque la tension de cette membrane augmente.

Ici se présente une application à la pathologie. Il n'est pas très-rare que les personnes qui ont l'oreille dure n'aient perdu que la faculté d'entendre les sons graves, tandis qu'elles conservent celle d'entendre les sons aigus, quoique, d'ailleurs, elles perçoivent ceux-ci plus faiblement. Un de mes collègues à l'Université, qui a l'oreille dure, entend les sons aigus mieux que les sons graves. Dans un pareil cas, il y a tout lieu de penser que la membrane du tympan est trop tendue. Cette circonstance peut acquérir de l'importance pour le diagnostic si obscur des maladies de l'oreille. La tension trop grande du tympan peut

naturellement être produite de plusieurs manières différentes; d'abord par obturation de la trompe d'Eustache, à la suite de laquelle, l'air se dilatant sous l'influence de la chaleur du corps, ou subissant une résorption partielle, la membrane éprouve une forte tension, soit en dehors, soit en dedans; ensuite par contracture du muscle tenseur : chez mon collègue, la trompe est libre, puisqu'il conserve la faculté de faire passer de l'air dans la caisse du tympan. On conçoit que la perforation de la membrane du tympan ou de l'apophyse mastoïde serait utile dans le premier cas, tandis qu'elle ne servirait à rien dans le second. C'est peut être ainsi qu'on doit expliquer en partie les résultats si divers que cette opération a entraînés.

La part que prend le muscle tenseur du tympan aux modifications de l'ouïe, se conçoit aujourd'hui d'après les principes que j'ai posés.

Si l'on peut admettre comme une chose très-probable qu'à l'occasion d'un son très-fort, ce muscle entre en action par l'effet d'un mouvement réflectif, de même que l'iris et le muscle orbiculaire des paupières font lors d'une impression de lumière très-vive, attendu que l'irritation est transmise des nerfs sensoriels au cerveau, et du cerveau aux nerfs moteurs, il devient évident que quand un bruit très-intense frappe l'oreille, le muscle tenseur du tympan peut assourdir l'ouïe par son mouvement réflectif, puisqu'un son intense provoque déjà, par un effet de réflexion, le clignement des paupières, et même la contraction convulsive, le tressaillement d'un grand nombre de muscles, chez les personnes qui ont le système nerveux très impressionnable. L'hypothèse n'a donc rien que de probable (1). Quand, par une cause quelconque, le muscle

(1) Un bruit très-fort, comme celui du canon, lorsqu'il éclate au voisinage de l'oreille, peut d'ailleurs produire un son propre de la membrane du tympan par l'effet d'une dépression de cette dernière. C'est du

tenseur du tympan imprime davantage de tension à cette membrane, l'aptitude à entendre les sons graves doit, en outre, diminuer davantage que la faculté de percevoir les sons aigus.

Ici on se demande si ce muscle est soumis à l'empire de la volonté. Mes observations m'ont appris que le muscle interne du marteau et celui de l'étrier se comportent au microscope comme tous ceux de la partie animale du corps, c'est-à-dire que les faisceaux primitifs portent des stries transversales régulières. Quant à ce qu'on appelle les muscles externe et antérieur du marteau, auxquels on attribue pour usage de relâcher le tympan, ce ne sont point des muscles. Je n'ai pu reconnaître dans l'externe aucun des caractères propres aux muscles, et qui sont si prononcés dans l'interne; ce n'est qu'un simple ligament. Mais les deux muscles réels des osselets de l'ouïe appartiennent, sans le moindre doute, au système animal. A la vérité, les muscles du système vasculaire, le cœur et les cœurs lymphatiques, ont aussi des rides transversales, et ce caractère n'est point exclusif aux muscles qui proviennent du feuillet extérieur de la membrane proligère, puisqu'on le retrouve également dans ceux qui émanent du feuillet médian, ou de la couche vasculaire, de cette membrane. Mais les muscles organiques des viscères sont constamment dépourvus de stries transversales sur les faisceaux primitifs de leurs fibres. Comme, en outre, les petits muscles de l'oreille externe sont soumis à la volonté (je les contracte manifestement, surtout celui de l'antitragus), il n'y a pas de motif pour refuser de placer ceux de la caisse du tympan dans la même catégorie. Enfin, on peut alléguer en faveur de ce rapprochement l'origine de la corde du tympan, qui naît du nerf ptérygoï-

moins ce que je crois avoir remarqué en moi. Le bruit du canon me fait éprouver en même temps une secousse analogue à celle que l'on entend lorsqu'en fermant la bouche et se bouchant le nez on tend subitement la membrane du tympan de dehors en dedans par inspiration.



dien interne, et celle du nerf de l'étrier, qui provient du nerf facial.

Fabrice d'Aquapendente enseignait déjà que le muscle interne du marteau obéit aux ordres de la volonté. Il disait pouvoir agir à son gré sur ce muscle, parce qu'il avait la faculté d'exciter à volonté du bruit dans son oreille. Il ne lui était possible que de déterminer le mouvement dans les deux oreilles à la fois. Mayer connaissait un homme qui était tellement maître du mouvement de ses osselets d'ouïe, qu'on entendait distinctement ces petits os crépiter lorsqu'on accollait l'oreille à la sienne (1). Je possède cette faculté dans les deux oreilles, mais plus prononcée dans la gauche, et je puis même restreindre l'influence de ma volonté à n'agir que du côté gauche. Le bruit consiste en un craquement, semblable au pétillement de l'étincelle électrique, ou au son qui se fait entendre lorsqu'on appuie le bout du doigt enduit d'une substance visqueuse sur du papier et qu'on le retire brusquement. Si quelqu'un se bouche l'oreille et la met en communication avec la mienne au moyen d'une verge, il entend ce craquement. On le discerne encore en appliquant son oreille libre sur la mienne, et même à une certaine distance, jusqu'à un ou deux pieds. Une personne la discernait, sans conducteur et sans bouchon dans les oreilles, à une distance de trois pieds, lorsque mon oreille était placée dans la direction de la sienne; à chaque mouvement que je produisais dans mon tympan, elle indiquait le résultat. Il me reste maintenant à prouver que ce bruit est réellement occasioné par la contraction du muscle interne du marteau et par l'action de ce muscle sur la membrane du tympan, qu'il tire en dedans, produisant ainsi un effet semblable à celui qui résulterait d'un choc imprimé du dehors. Ce qui l'annonce déjà, c'est que quand je pousse de l'air par la trompe d'Eustache, après avoir fermé la bouche

(1) Lincke, *Handbuch der Ohrenheilkunde*, t. I, p. 472.

et m'être bouché le nez, outre le bruissement dû à l'effort de cet air contre la membrane du tympan, j'entends parfois aussi le craquement qui m'est si bien connu, et je l'entends au moment où je cesse d'exercer la pression, c'est-à-dire quand la membrane revient à sa situation première. Ce son peut également être entendu par une autre personne. L'examen de la cavité buccale pendant que je produisais le craquement volontaire dans l'oreille, me parut devoir offrir un intérêt particulier. En contemplant la bouche et l'arrière-bouche à l'aide d'un miroir, je vois que je fais mouvoir en même temps les muscles supérieurs du palais, puisque le voile du palais ne manque jamais de s'élever. Ceci conduirait à penser que le bruit dépend de ce que l'élévation du voile du palais détermine un courant d'air vers les orifices des trompes d'Eustache. Mais la conjecture est fausse; car je puis élever le voile du palais autant qu'il est permis de le faire, sans que le bruit se fasse entendre. Par exemple, lorsque je chante, la bouche largement ouverte devant un miroir, je vois le voile du palais s'élever autant que possible dans les sons aigus, même dans les légers sons de fausset, et cependant le bruit n'a pas lieu dans mes oreilles; mais j'ai la faculté de le produire à volonté pendant cette élévation du voile. Ceci réfute en même temps l'objection que je m'étais faite d'abord, celle que, en raison de l'origine des muscles supérieurs du palais, leur contraction fait naître de la portion cartilagineuse des trompes d'Eustache, par la pression qu'elle exerce sur ces conduits, un son qui se transmet à l'organe auditif; cette idée était déjà renversée d'ailleurs par le fait que je ne suis pas le seul qui entende le mouvement, puisque d'autres peuvent aussi distinguer, à plusieurs pas de distance, le craquement qu'il détermine. Ce mouvement paraît donc être une contraction volontaire du muscle interne du marteau.

Indépendamment du craquement, je produis encore, à volonté, un second son dans l'organe auditif, et cela des deux

côtés. C'est un bourdonnement, qui peut durer une seconde et davantage. Il a lieu aussi avec élévation du voile du palais, et paraît réellement dépendre de la contraction des muscles palatins. Il se manifeste quelquefois quand je bâille, ou que j'ai des rapports, même lorsque ces phénomènes résultent d'un acte de ma volonté. Parmi les mouvemens qui produisent le craquement comme mouvement d'association, je citerai chez moi la déglutition; mais il n'accompagne pas toujours et nécessairement cette dernière. Du reste, pendant que je produis un son craquant, je n'en entends pas moins nettement d'ailleurs, tandis que le bourdonnement, qu'il faut bien distinguer de ce son, trouble l'audition.

Une contraction involontaire du muscle interne du marteau doit déterminer un bruit dans l'oreille. Plus d'une personne sans doute en aura entendu de semblables.

La manière d'agir du muscle de l'étrier dans l'audition est inconnue. Il tire l'osselet de manière que sa plaque devienne oblique dans la fenêtre ovale, car elle s'enfonce un peu plus dans cette dernière du côté de la traction, et en sort d'autant de l'autre côté. Le seul effet qu'on pourrait lui attribuer, d'après ce mode d'action, serait, à mon avis, de tendre la membrane qui unit la plaque de l'étrier avec la fenêtre.

D. *Fenêtre ovale et fenêtre ronde.*

La transmission par deux fenêtres n'est point une condition indispensable pour entendre, chez les animaux aériens pourvus d'une caisse tympanique; car, ainsi que le prouvent les expériences précédemment rapportées, le son peut se communiquer avec intensité à l'eau tant par une membrane tendue (tympan secondaire), que par un corps solide mobile qui se trouve uni à une membrane tendue. L'anatomie comparée nous en fournit effectivement la preuve; car les Grenouilles, bien qu'elles soient pourvues d'un tympan complet d'ailleurs, n'ont point de fenêtre ronde, et chez elles la transmission ne

s'accomplit que par la chaîne des osselets. Dans ce cas, l'air de la caisse tympanique entre à peine en ligne de compte comme conducteur, puisqu'il ne peut pas communiquer ses ondes avec quelque intensité aux parties solides de l'organe auditif. Il sert principalement à isoler les osselets et la membrane du tympan.

Lorsque les deux fenêtres existent concurremment avec une cavité tympanique, elles occasionent deux transmissions des ondes sonores à l'eau, l'une par des corps solides, l'autre par une membrane, et mes expériences prouvent que toutes deux ont de l'intensité. Cette disposition doit naturellement fortifier l'ouïe ; car alors l'eau du labyrinthe reçoit de deux points placés l'un à côté de l'autre des ondes circulaires, qui de plus produisent par leur croisement des condensations ou des protubérances plus considérables aux endroits de la décussation.

On se demande ici laquelle des deux transmissions est la plus forte, ou de celle qui va de la membrane du tympan à la fenêtre ovale par la chaîne des osselets, ou de celle qui va de la membrane du tympan à l'eau du labyrinthe par l'air de la cavité tympanique et la membrane de la fenêtre ronde.

Jusqu'à présent ce problème n'a guère été résolu que par des hypothèses arbitraires. Les uns disent qu'il n'y a point de transmission par les osselets de l'ouïe, et ils se fondent sur l'exemple des personnes qui ont continué d'entendre après avoir perdu ces petits os, comme l'ont observé A. Cooper (1), et avant lui Caldani, Cheselden. D'autres nient la transmission par la fenêtre ronde, attendu qu'il résulte de faits nombreux que la destruction et la perte des osselets de l'ouïe abolissent la faculté d'entendre (2). Il ne convient pas d'admettre un mode exclusif de transmission, puisque chaque partie douée du

(1) *Philos.* Trans., 1801.

(2) Haller, *Elem. physiol.*, t. V, p. 285. — Lincke, *loc. cit.*, p. 465.

pouvoir conducteur accomplit ce que les lois de la physique lui permettent de faire. Il ne peut donc être question ici que d'une simple différence en plus ou en moins. Muncke, à qui l'on doit une revue critique des diverses opinions et de leurs fondemens respectifs (1), admet une transmission plus énergique par les osselets de l'ouïe.

Voici comment ce physicien raisonne. Supposons qu'une personne voulût tenir deux montres dont le tictac serait égal à une même distance de son oreille, mais l'une jointe à cette dernière par une verge osseuse, et l'autre suspendue librement dans l'air. De toute évidence, elle entendrait l'une parfaitement, et n'entendrait pas du tout l'autre. Il suffit de se rappeler une expérience bien connue, celle de la force avec laquelle on entend les sons d'une cuiller suspendue à un fil qui la fait communiquer avec l'oreille, tandis qu'on n'entend point du tout ces sons lorsqu'ils sont conduits par l'air. Mais ce cas, qui tendrait à prouver l'intensité plus grande de la transmission par la chaîne des osselets, n'a point une parfaite ressemblance avec ce qui a lieu pendant la transmission du son par la caisse du tympan. Les ondes sonores primaires des corps solides se rendent, sans nul doute, avec toute l'intensité possible, immédiatement à la verge solide qui touche l'oreille, et ensuite à celle-ci; mais elles sont conduites faiblement lorsqu'elles ont l'air pour conducteur. Il n'y a qu'un son excité primairement dans l'air qui se propage avec beaucoup plus d'intensité de cet air à l'air, que de l'air à une verge solide. Dans notre problème, il s'agit de savoir si les ondes sonores qui sont nées dans l'air, ou qui lui ont été communiquées, et qui arrivent par l'air à la membrane du tympan, sont conduites plus facilement de cette membrane aux osselets ou à l'air de la caisse, et plus facilement des osselets à l'eau du labyrinthe directement, ou de l'air de la caisse à cette même eau par l'intermédiaire du tympan secondaire.

(1) Dans KASTNER, *Archiv fuer die gesammte Naturlehre*, t. VII, p. 1.

La question peut également être posée ainsi : Quel est le système qui, l'air étant le point de départ, diminue le moins l'excursion des parties vibrantes, ou de celui dans lequel la transmission a lieu de l'air à une membrane tendue, puis de cette membrane à un corps solide limité et mobile, enfin de ce corps à de l'eau, ou de celui qui a lieu de l'air à une membrane tendue, puis de celle-ci à de l'air, de cet air à une autre membrane tendue, et de cette dernière membrane à de l'eau? Les expériences que j'ai faites à ce sujet établissent très-positivement le fait suivant :

V. *Des vibrations qui passent de l'air à une membrane tendue, de celle-ci à des parties solides, limitées, librement mobiles, et de ces parties à de l'eau, se communiquent avec beaucoup plus d'intensité au liquide, que des vibrations qui passent de l'air à une membrane tendue, puis à de l'air, puis encore à une membrane tendue, et en dernier lieu à de l'eau, ou, en appliquant ce théorème à la caisse du tympan, les mêmes ondes aériennes agissent avec beaucoup plus d'intensité sur l'eau du labyrinthe après avoir traversé la chaîne des osselets et la fenêtre ovale, qu'après avoir traversé l'air de la cavité tympanique et la membrane de la fenêtre ronde.*

Fig. 70.

J'imitai de la manière suivante le double appareil conducteur de la caisse du tympan. Un cylindre en verre (*a*), ayant deux pouces et demi de diamètre, sur six pouces de long, s'allonge, à l'une de ses extrémités, en un col, à l'orifice duquel s'ajuste parfaitement le tuyau en bois (*b*), dont la lumière a huit lignes de diamètre. Le bout extérieur (*b*) s'adapte exactement à l'extrémité d'un sifflet en laiton d'un pied. Le bout intérieur est revêtu d'une membrane tendue (vessie de Cochon) (*c*), qui représente la membrane du tympan, pendant que *b* figure le conduit auditif

externe. Le cylindre de verre a son ouverture la plus large close par une plaque épaisse de liége (*d*) ; sa capacité intérieure représente la caisse du tympan. Dans deux trous dont la plaque de liége est percée, et qui sont situés à égale distance de la circonférence du cylindre, s'adaptent parfaitement de petits et courts tuyaux de bois, dont la lumière a trois ou quatre lignes de diamètre. Ces deux petits tuyaux sont bouchés par une membrane à leur extrémité extérieure. Ils représentent les deux fenêtres. La membrane de l'un d'eux seulement (*f*) est mise en communication, par une petite verge (*g*), avec la membrane supérieure qui garnit le commencement du cylindre *c*. Cette petite verge en bois, qui figure la chaîne des osselets de l'ouïe, ne touche la membrane supérieure, ou le représentant de la membrane du tympan, qu'à sa partie moyenne; mais elle touche la membrane inférieure, ou celle du petit tuyau *f*, dans la plus grande partie de son étendue, attendu qu'elle s'étale là en une plaque qui n'est qu'un peu plus petite que la membrane tendue sur le tuyau *f*. La petite verge est serrée entre les membranes, qu'elle tient toutes deux légèrement tendues. Ainsi le petit tuyau *e* est la fenêtre ronde, avec le tympan secondaire, et le petit tuyau *f* est la fenêtre ovale. Si l'on tient l'extrémité inférieure de l'appareil dans l'eau, qu'on place le sifflet sur le tube *b*, et qu'on le fasse parler, la transmission du son jusqu'à l'eau figure exactement sa double transmission depuis la membrane naturelle du tympan jusqu'à l'eau du labyrinthe. La membrane qui représente celle du tympan (*c*) reçoit des ondes, qui se propagent tant par la verge *g* à la fenêtre ovale *f*, que par l'air du récipient, ou de la caisse tympanique à la membrane de la fenêtre ronde (*e*), et passent en même temps dans l'eau. Si on laisse un vide à l'endroit où la grande plaque dans laquelle sont percées les fenêtres s'unit avec le cylindre de verre, entre le bord de ce dernier et le liége, et qu'on tienne l'extrémité inférieure de l'appareil dans l'eau, de telle manière que les fenêtres touchent l'eau, mais que le vide

dont il vient d'être question soit dans l'air, l'air intérieur communique avec celui du dehors pendant la transmission, et l'on a une imitation de la trompe d'Eustache ; mais le résultat est absolument le même quand cette communication n'existe pas.

Maintenant, l'expérimentateur qui s'est bouché les oreilles, dont l'une communique avec l'eau par le moyen d'un conducteur, peut, tandis qu'une autre personne soufle dans le sifflet, juger, d'après ses propres sensations, de l'intensité des ondes qui arrivent au liquide par les deux fenêtres. La différence est très-considérable. Les ondes transmises de la membrane du tympan à l'eau par la baguette ont une intensité infiniment supérieure à celle des ondes que les mêmes vibrations de la membrane tympanique envoyent au liquide par l'air du réservoir et la membrane du tympan secondaire. On entend les forts sons de la fenêtre ovale jusque dans l'espace situé au devant de la fenêtre ronde. En conséquence, pour observer isolément la part bien faible que cette dernière fenêtre prend à la transmission, il est nécessaire de retirer la verge de l'appareil, ou de fermer tout-à-fait l'ouverture qui correspond à cette fenêtre, en y adaptant un bouchon. Alors on remarque que la transmission à travers la membrane de la fenêtre ronde n'est que de peu de chose plus forte que celle à travers les parties solides de la plaque de liége.

Il peut se faire que les ondes du même son transmises à travers les deux fenêtres diffèrent non seulement eu égard à l'intensité, mais encore, jusqu'à certain point, sous le rapport de la qualité ou du timbre. Les ondes qui parviennent à la fenêtre ronde demeurent des ondes aériennes jusqu'à la membrane de cette fenêtre. Celles des osselets de l'ouïe sont des ondes de corps solides. Or on sait qu'un même son varie de timbre, suivant les corps qui résonnent. Quelle différence n'y a-t-il pas, par exemple, entre le son d'un diapason, suivant qu'on le laisse résonner librement dans une soucoupe pleine

d'air, ou qu'on le tient auprès des parois de cette soucoupe ? Quelle différence aussi n'offre pas le son d'une cloche qui résonne dans l'eau, suivant qu'on le perçoit à l'aide d'un conducteur plongé dans l'eau, ou qu'on l'entend tel qu'il sort du liquide pour se répandre dans l'air? Dans le premier cas, il est retentissant, dans le second il ne l'est point. Des expériences directes sur ces différences dans la qualité des sons sont difficiles à faire, parce qu'il faudrait que les sons des deux fenêtres de l'appareil précédemment décrit fussent également forts, pour qu'on pût en comparer sûrement l'éclat. Mais celles que j'ai tentées sont plutôt favorables que défavorables à l'hypothèse que je viens d'émettre.

Les ondes transmises par la fenêtre ovale agissent plus prochainement sur le vestibule et les canaux semi-circulaires ; celles qui sont transmises par la fenêtre ronde portent principalement sur le limaçon. Mais les ondes qui parviennent dans le vestibule, et qui s'étendent circulairement, arrivent aussi au limaçon. D'ailleurs, en général, le rapport de la fenêtre ronde avec le limaçon n'est pas un attribut constant de cette fenêtre, puisque les Chéloniens ont l'une et l'autre fenêtre, bien qu'ils ne possèdent pas de limaçon proprement dit.

E. *Trompe d'Eustache.*

La trompe d'Eustache existe dans tous les cas où il y a une caisse du tympan. Les maladies qui l'atteignent prouvent qu'elle est d'une grande importance pour l'intégrité de l'ouïe. Son obturation entraîne constamment la dureté d'oreille et des bourdonnemens. Mais on ne peut pas déduire des observations pathologiques si elle est immédiatement nécessaire à la netteté et à l'intensité de la transmission, ou si son occlusion ne contribue que d'une manière immédiate à l'altération de la faculté d'entendre. On conçoit, en effet, que cette altération serait tout aussi grande par suite de l'oblitération de la trompe, si le conduit n'avait d'autre destination que de pré-

venir la tension trop considérable de la membrane du tympan par la condensation et la raréfaction de l'air de la caisse, ou si son usage consistait à procnrer, par son mouvement vibratile, l'excrétion du mucus engendré dans la cavité tympanique. La replétion de la caisse par des mucosités doit détruire tous les avantages de cet appareil conducteur.

Les usages qu'on peut hypothétiquement attribuer à la trompe d'Eustache, et qui lui ont été assignés en effet, sont les suivans, que nous examinerons l'un après l'autre.

1° Quelques uns croyent, mais à tort, qu'une masse d'air renfermé serait impropre à transmettre les vibrations. Saunders dit que quand la trompe d'Eustache est bouchée, l'air de la caisse du tympan ne peut s'échapper que par condensation, et qu'il détruit alors les vibrations. Muncke fait observer, à juste titre, que cette hypothèse est en contradiction avec les lois de la physique. Nulle évacuation n'est réellement nécessaire pour la propagation de l'ébranlement.

2° Le contraire de cette hypothèse se concilierait mieux avec les les lois de la physique. Car, si l'on fait abstraction de la transmission par la chaîne des osselets, et que l'on compare l'air compris dans le conduit auditif et la caisse du tympan à la colonne d'air de ce qu'on nomme un tuyau de communication, dans lequel les ondes sonores sont concentrées sans affaiblissement, il devrait y avoir ici, comme dans un tuyau de communication, une ouverture latérale qui déterminât une extension partielle des ondes au dehors, et qui, dans le cas d'un ébranlement trop fort, modérât cette impression, en tant qu'elle agit de l'air sur la fenêtre ronde.

3° D'autres regardent l'inégalité de densité de l'air dans la caisse du tympan et au dehors de cette cavité comme un obstacle à l'audition. Tel est Muncke, entre autres. Je ne puis pas non plus partager cette opinion. La propagation des ondes par des couches d'air d'inégale densité semble bien affaiblir le son; mais, dès que deux couches d'air semblables sont sé-

parées par un corps solide, comme la membrane du tympan; la triple différence des milieux existe déjà. L'onde passe de l'air à la membrane, puis de la membrane à l'air, et il s'agit de savoir, non pas jusqu'à quel point l'air du dedans et l'air du dehors peuvent différer l'un de l'autre, mais jusqu'à quel point l'air intérieur est apte à recevoir l'onde de la substance de la membrane du tympan : car c'est de cette membrane, et non de l'air extérieur, qu'il reçoit la condensation.

4° La trompe est destinée à empêcher la résonnance de l'air contenu dans la caisse du tympan. Cette hypothèse est la moins soutenable de toutes. Car un espace plein d'air résonne, que le réservoir soit ouvert à l'une de ses deux extrémités seulement, ou à toutes deux. La simple résonnance serait plutôt un avantage qu'un inconvénient. La seule chose qui pourrait nuire serait qu'un espace plein d'air résonnât dans son propre ton. Sous le rapport de la résonnance des espaces remplis d'air, il est à remarquer que l'air d'un tuyau ouvert, considéré comme colonne vibrante, est comparable à une colonne de hauteur double contenue dans un tuyau couvert.

5° La trompe a pour usage d'accroître la résonnance. On peut envisager sous ce point de vue l'opinion de Henle, qui compare l'ouverture de la trompe d'Eustache dans la caisse du tympan aux trous percés dans la table du violon, et qui sont si nécessaires pour la production d'un son bien plein. Ces trous sont cause que non seulement la table du violon résonne, mais encore l'air contenu dans la caisse. De même, l'air des cavités orale et nasale résonne pour l'audition, quoique les sons arrivent à l'oreille par le conduit auditif externe. Cette hypothèse ne saurait être, en général, contestée. Elle a pour elle les expériences directes sur l'effet résonnant de tuyaux latéraux qui sont posés sur un tuyau principal court avec lequel ils communiquent par une ouverture. Le son d'un

diapason que je tenais sur l'ouverture d'un court tuyau (long de quatre pouces et large d'un) muni d'un tuyau latéral long de deux pieds, me semblait plus fort que quand le son de l'instrument résonnait seulement dans l'air du court tuyau percé d'une petite ouverture latérale ; si l'ouverture est très-petite, il ne paraît pas y avoir d'influence.

On peut aussi chercher directement à reconnaître si, avec une ouverture aussi étroite que celle de la trompe d'Eustache, l'influence n'est pas en grande partie éteinte. Voici comment on peut imiter d'une manière grossière l'appareil de transmission de la caisse du tympan, avec la trompe d'Eustache.

Fig. 71.

d

c

b

a

Un tuyau en bois (*a*), ayant huit lignes de diamètre, sur trois pouces de long, est recouvert d'une membrane à l'une de ses extrémités, et il va en se retrécissant du côté opposé, de manière qu'on puisse l'insinuer profondément dans le conduit auditif. Ce tuyau représente la caisse du tympan. Il est percé d'une très-petite ouverture sur le côté, et l'on peut adapter en cet endroit le tuyau latéral *b*. Le tuyau *c* remplit l'office du conduit auditif externe. Le tuyau *a* s'ajuste parfaitement dans son intérieur. On ne saurait employer un son développé librement dans l'air, attendu qu'il pénétrerait, tant par le tuyau *b* que par le tuyau *c*, et, après l'enlèvement du tuyau latéral *b*, par la petite ouverture dont la caisse du tympan est percée. On est donc obligé d'en exciter un dans le tuyau *c*, et de telle manière qu'il se ré-

pande peu hors de ce tuyau. Ce qui m'a paru le plus convenable pour arriver à ce but, c'est qu'une personne applique ses lèvres à l'orifice du tuyau *b*, et qu'en se tenant le nez bouché, elle fasse claquer les unes contre les autres les dents des deux mâchoires; le son produit par les dents peut se communiquer à l'air du tuyau, dans les parois duquel il se disperse peu, à cause des parties molles des lèvres, et l'air du tuyau *c* le conduit à la membrane et à l'air de la caisse tympanique. Si maintenant j'enfonce le bout rétréci de cette dernière dans mon oreille, je puis comparer l'intensité du son quand l'ouverture latérale de la caisse est bouchée, quand cette ouverture est béante, et quand le tube latéral *b* a été ajusté sur elle. Lorsqu'on met le doigt, pour la boucher, sur l'ouverture latérale qui représente l'embouchure de la trompe, le son des dents est plus sourd que quand on laisse l'ouverture découverte, mais son intensité est peu ou point altérée; la différence est bien moindre soit quand on adapte le tube latéral *b*, soit lorsque l'ouverture simple demeure béante, sans tuyau qui la recouvre : en effet, dans les deux cas, l'éclat du son est le même, et l'on n'aperçoit non plus, du moins d'une manière certaine, aucune différence dans son intensité. Ainsi, dans le cas d'une ouverture étroite entre la caisse du tympan et l'espace aérien résonnant *b*, celui-ci perd entièrement ou presque entièrement son importance par rapport à un son qui ne peut point agir directement sur lui.

6° La trompe est destinée à débarrasser la transmission par l'appareil de la caisse tympanique d'un obstacle que présente une colonne d'air totalement renfermée, puisque, dans ce cas, ou la faculté conductrice de la membrane du tympan elle-même est trop faible, ou la résonnance de cette membrane et de l'air contenu dans la caisse est trop peu considérable. C'est là l'opinion la plus répandue eu égard aux usages de la trompe d'Eustache. Itard la compare au trou sans lequel

une caisse militaire ne rendrait qu'un son sourd et étouffé. Mais cet exemple est peu probant, et il n'a pas la moindre analogie avec les circonstances dont il s'agit ici. Car si une caisse militaire a plus d'éclat lorsqu'elle est percée d'un trou latéral, c'est parce qu'alors les vibrations aériennes excitées dans l'intérieur de la caisse traversent non plus seulement les parois de l'instrument et ses membranes, mais encore le meilleur conducteur qu'elles puissent trouver, l'air lui-même, pour se répandre dans l'atmosphère et arriver à l'oreille. En outre, je ne trouve qu'une différence extrêmement faible dans l'éclat du son, lorsque le trou d'une petite caisse est bouché, ou quand il est béant. Du reste, on ne peut point songer à une augmentation de l'intensité du son au moyen des ondes qui arrivent à la caisse du tympan par l'air de la bouche et de la trompe d'Eustache. Car un homme bien constitué entend tout aussi bien quand il se ferme la bouche et le nez que quand il les ouvre.

J'ai entrepris, relativement à la proposition mise en thèse, plusieurs expériences qui ne parlent point en sa faveur. Lorsque je fixais profondément, et d'une manière solide, dans une de mes oreilles, un tuyau court dont le bout antérieur était clos par une membrane, comme la seule pièce *a* de la figure précédente, et que je me bouchais bien l'autre oreille avec du papier mâché, un son excité dans la membrane elle-même se propageait sans affaiblissement à travers le tuyau. On conçoit qu'il n'était pas possible de se servir d'un son excité dans l'air libre : car ce son, celui d'un sifflet par exemple, peut, au moyen de l'ouverture latérale, se communiquer avec plus de force à l'air intérieur du tuyau par l'air que par la membrane. Lorsqu'on fait rendre un son à cette dernière, en la frappant ou la frottant avec le doigt, le son est constamment sourd si on tient l'ouverture latérale bouchée, plus clair et en quelque sorte plus net, si on la laisse béante ; mais je n'ai pas pu apercevoir de différence notable dans son intensité. Il m'a même

semblé que, quand la membrane était mouillée, le son sourd avait plus de force pendant la fermeture du trou, que le son clair pendant son ouverture. On obtient un résultat en général analogue avec l'appareil indiqué dans la figure précédente. Si une personne applique ses lèvres à l'orifice du tuyau *d*, et qu'elle fasse claquer ses dents, en se bouchant le nez, on entend très-distinctement le son, entre *c* et *a*, à travers l'air du tuyau et de la membrane, quand on enfonce bien *a* dans sa propre oreille. Qu'on enlève le tuyau *b*, le son est plus sourd si l'on bouche l'ouverture latérale, et plus clair si on la laisse béante ; mais il n'y a pas de différence appréciable dans son intensité.

D'après cela, on peut donc bien convenir qu'il est possible qu'un certain émoussement du son soit évité par la résonnance de l'appareil tympanique à travers la trompe ; mais on ne saurait accorder qu'il soit fortifié dans le sens qu'exprime la proposition.

Quelques autres expériences sur l'audition avec ou sans occlusion des trompes d'Eustache viennent à l'appui de cette conclusion. Il est hors de doute que le plus sûr moyen de découvrir l'influence des trompes consisterait à pouvoir les boucher de telle manière qu'on ne condensât pas l'air de la caisse, et qu'ainsi on ne tendît point la membrane du tympan. Mais il n'est guère possible d'arriver là, et d'ailleurs l'expérimentateur qui se ferait sonder la trompe serait toujours dans le doute de savoir si elle est ou non parfaitement bouchée par l'instrument. Il faut donc renoncer à cette idée, comme peu fructueuse pour la physiologie. Les observations pathologiques ne fournissent non plus aucune donnée pour la solution du problème. Cheselden a observé une surdité subite après une injection d'eau dans la trompe. Saunders, au contraire, a vu, chez des personnes dont l'ouïe était dure, cette opération amener une amélioration qui durait aussi long-temps que le liquide injecté restait dans l'oreille. Ces résultats inverses pa-

raissent dépendre de toute autre chose que de la perméabilité ou de l'occlusion de la trompe. Il faut ici avoir égard plutôt à la tension de la membrane du tympan, que l'injection détermine, ou si, avant l'opération, la membrane était trop rejetée en dedans par la raréfaction de l'air, à la diminution de sa tension par la compression que le liquide injecté exerce sur l'air de la caisse du tympan. Mais il y a un autre moyen de parvenir à boucher et rouvrir ses trompes d'Eustache, avec tension, à la vérité plus considérable, de la membrane du tympan; c'est, comme je l'ai dit dans le paragraphe précédent, de raréfier l'air de la caisse par un fort mouvement inspiratoire qu'on accomplit tandis qu'on ferme la bouche et le nez. Ici les parois de la trompe s'appliquent l'une contre l'autre, ce qu'on reconnaît à ce que le renversement en dedans de la membrane du tympan, dont on a la perception distincte, persiste jusqu'à ce qu'on la fasse cesser par le mécanisme que j'ai indiqué. D'un autre côté, on peut rendre la trompe plus large qu'à l'ordinaire en faisant un mouvement expiratoire, la bouche close et le nez bouché, cas dans lequel aussi la membrane du tympan éprouve de la tension. Les circonstances sont donc à peu près les mêmes, à la densité de l'air près : dans les deux cas, la membrane du tympan est tendue, mais la trompe d'Eustache est élargie dans l'un, et bouchée dans l'autre. Or on entend également mal dans ces deux cas.

7° La trompe d'Eustache est destinée à l'audition de la voix. Cette hypothèse paraît être déjà suffisamment réfutée par d'anciennes observations, notamment par une expérience que Schelhammer a faite. Schelhammer s'introduisit un diapason vibrant dans la bouche; il ne l'entendit presque pas; mais, tenu au devant de la bouche médiocrement ouverte, l'instrument fit entendre un son très-fort, à cause de la résonnance de l'air de la cavité orale, et l'effet fut alors le même que quand on place un diapason vibrant sur le goulot d'une bouteille. Nul doute cependant que le son résonnant ne soit pro-

duit en grande partie par la transmission de l'oreille externe au tympan. Il n'est pas facile d'entendre le mouvement d'une montre qu'on tient dans sa bouche, sans y toucher ni de la langue ni des dents. Assurément l'expérience de Schelhammer n'est pas pleinement concluante ; car le son du diapason, par cela même qu'il vient d'un corps solide, se transmet difficilement à l'air, tandis que, dans le son de la voix, les ligamens de la glotte, quand ils entrent en vibration, communiquent simultanément des oscillations régulières à l'air, ainsi qu'il arrive dans tout instrument à anche. Cependant on peut se convaincre d'une autre manière que l'influence de la trompe sur l'audition de la voix est extrêmement faible. J'ai dit que les mouvemens respiratoires nous rendent maîtres de clore et d'ouvrir cette trompe à volonté. En soutirant l'air de la caisse du tympan, ou le raréfiant au moyen de l'inspiration, la bouche et le nez étant clos, la trompe se ferme pour quelque temps, et en condensant l'air de la caisse par une expiration forte, les voies aériennes étant fermées, on la rend plus large que de coutume. Il s'agit donc uniquement de produire un son de voix, dans l'un et l'autre cas, pendant que la bouche et le nez sont fermés, ce qui n'est pas impossible, du moins pour un bourdonnement de faible durée. Dans l'un, comme dans l'autre cas, on l'entend très-distinctement, et il y a peu de différence, le son n'étant que de très-peu de chose plus fort quand la trompe est dilatée que quand elle est close. Ce n'est donc point, à coup sûr, par le moyen principalement de la trompe d'Eustache que nous entendons notre voix. Il part de la bouche des ondes sonores circulaires ; les segmens postérieurs de ces cercles rencontrent la conque, et sont réfléchis vers le tragus, puis de celui-ci dans le conduit auditif : or la conque de l'oreille externe offre, à mon avis, la situation précisément qui convenait le mieux pour favoriser la réflexion des ondes sonores parties de la bouche. Mais nous entendons aussi notre voix par la transmission du son de l'air aux parois

du nez et de la bouche, puis aux os de la tête, et plus immédiatement encore par une simple chaîne de parties solides étendue jusqu'au labyrinthe, savoir, à partir des ligamens de la glotte, par les parties molles et solides du col et de la tête. Ce qui prouve combien ce mode de transmission doit être efficace, c'est que nous entendons le bruit totalement emprisonné par les parties solides de notre corps, les borborygmes dans l'intestin, et autres semblables. On se fait une meilleure idée encore de l'audition de notre propre voix par propagation à travers des parties solides, en se bouchant les oreilles, introduisant un conducteur dans l'une, et l'appliquant par l'autre bout sur le larynx d'une personne qui parle : on entend alors la voix de cette personne au milieu des mêmes circonstances dans lesquelles on entend la sienne propre. Il est vrai que l'oblitération maladive de la trompe rend l'ouïe dure pour les sons extérieurs, mais elle ne fait pas qu'on entende mal sa propre voix, comme l'ont observé Autenrieth (1) et Lincke (2).

8° La trompe sert à évacuer le mucus de la caisse du tympan par son mouvement vibratile. On ne saurait douter de cela, et la replétion du tympan par des mucosités explique même en partie la dureté d'ouïe qui s'observe après l'oblitération des trompes. Cependant telle ne peut point être l'unique destination de ces organes.

9° La trompe est destinée à mettre l'air de la caisse du tympan en équilibre avec l'air extérieur, spécialement à éviter la trop grande tension de la membrane, qui serait la suite d'une condensation ou d'une raréfaction permanente de l'air, et qui entraînerait la dureté de l'ouïe. Voilà ce qui me paraît être le but principal de la trompe d'Eustache, de cet appareil qu'on rencontre partout où il y a une caisse et une membrane du tympan. Ce n'est pas de la condensation ou de la raréfaction

(1) Dans Reil, *Arch.*, t. IV, p. 321.

(2) *Loc. cit.*, p. 502.



de l'air qu'il s'agit surtout ici, mais de la tension de la membrane du tympan, qui en est la conséquence nécessaire, et qui ne manque jamais de rendre l'ouïe dure, car l'effet est le même dans l'une et l'autre hypothèse. C'est aussi sous ce point de vue que, dans beaucoup de cas de surdité par occlusion chronique de la trompe sous l'influence d'une maladie quelconque, on doit juger l'utilité du cathétérisme et la coïncidence de ses résultats avec ceux de la perforation du tympan et de la térébration de l'apophyse mastoïde. Je ne nie pas pour cela les autres avantages que procure la trompe, et que j'ai déjà appréciés ; loin de là, ceux auxquels j'attache le plus d'importance, après l'usage assigné dans ce paragraphe, sont la modification que les trompes apportent au son, qu'elles débarrassent de sa sourde résonnance, l'accès qu'elle procure à l'air dans la caisse, et l'issue qu'elle procure aux sécrétions de cette cavité.

Chez l'homme dont la trompe d'Eustache a une largeur suffisante, l'équilibre doit se rétablir d'une manière insensible lorsque l'air extérieur augmente rapidement de densité. Mais les observations faites sous la cloche du plongeur prouvent qu'en d'autres cas, les choses ne rentrent point insensiblement dans l'ordre, et que le trouble de l'équilibre peut persister durant quelque temps. Carus a remarqué qu'en gravissant de hautes montagnes, il éprouvait de la tension dans l'oreille, et que quand il était parvenu à une certaine élévation, il y entendait un craquement, ce qui se répétait à des distances d'environ six cents pieds. On conçoit que le degré auquel ce phénomène a lieu, chez d'autres personnes, dépend en partie de circonstances individuelles. Je ne me souviens pas d'en avoir jamais fait le sujet d'observations sur moi-même. Au reste, j'aurais soin, en pareil cas, avant que le trouble de l'équilibre arrivât au maximum, de le faire cesser par l'action volontaire du muscle interne du marteau, qui, comme je l'ai dit, produit aussi un craquement dans mon oreille.

Muncke admet que le tympan secondaire de la fenêtre ronde sert, dans le cas d'une violente secousse dirigée contre l'eau du labyrinthe, à modérer l'impression, en fuyant pour ainsi dire devant le coup. Le son peut, à la vérité, être dérivé dans un canal aérien ou dans un tuyau de communication, quand les parois qui retiennent les ondes, à cause des difficultés de la transmission, présentent une ouverture; mais les ondes impulsives de l'eau se transmettent très-facilement à des corps solides.

F. *Conduit auditif externe.*

Le condnit auditif externe a de l'importance dans la transmission du son, sous trois points de vue : d'abord, parce qu'au moyen de l'air qu'il renferme, il conduit directement à la membrane du tympan les ondes sonores qui tombent de l'air, et rassemble ces ondes ; en second lieu, parce que ses parois mènent les ondes communiquées à l'oreille externe, par le chemin le plus direct, au point d'attache du tympan, et ainsi à cette membrane elle-même; enfin, parce que la masse d'air limitée qu'il circonscrit est susceptible de résonnance,

Comme conducteur aérien, il reçoit les ondes aériennes directes, qui doivent produire l'effet le plus puissant lorsqu'elles tombent dans son axe. Si elles parviennent obliquement au conduit, elles sont conduites par réflexion à la membrane du tympan. Le conduit reçoit aussi de cette manière, par réflexion, les ondes qui viennent choquer la conque de l'oreille, lorsque leur angle de réflexion est capable de les jeter vers le tragus. Celles des ondes sonores de l'air qui ne parviennent dans le conduit ni immédiatement ni par réflexion, peuvent encore s'y introduire en partie par inflexion; ainsi, par exemple, les ondes aériennes dont la direction est celle de l'axe longitudinal de la tête, et qui passent au devant de l'oreille, doivent, d'après les lois de l'inflexion sur les bords du conduit auditif externe, s'infléchir dans ce dernier. Ce-

pendant les ondes les plus fortes sont, dans tous les cas, celles qui viennent directement; ni les ondes réfléchies, ni les infléchies ne les égalent sous ce rapport. Delà vient qu'on peut juger de la direction du son, en portant son conduit auditif externe dans des directions diverses.

Les parois du conduit auditif doivent encore être étudiées comme conducteur solide; car, en les traversant, les ondes qui se communiquent au cartilage de l'oreille sans subir de réflexion, arrivent à la membrane du tympan par la voie la plus courte. Les oreilles étant bien bouchées, le son d'un sifflet est plus fort lorsqu'on pose le bout de cet instrument fermé par une membrane sur le cartilage même de l'oreille, que quand on l'applique sur la surface de la tête.

Enfin, l'air limité du conduit auditif a encore de l'importance en raison de son aptitude à résonner. Tout espace limité d'air résonne. Il suffit d'alonger le tuyau du conduit auditif externe par un autre tuyau qu'on y implante, pour se convaincre de cette influence : on entend alors avec beaucoup plus d'intensité tous les sons, quels qu'ils soient, même sa propre voix. Si l'on ajoute des tuyaux plus longs, la colonne d'air rend même le son qui lui est propre en raison de sa longueur, comme l'ont fait voir les frères Weber. Lorsque les colonnes d'air sont petites, cette consonnance n'a plus lieu, et l'on n'observe qu'un simple renforcement par résonnance.

G. *Cartilage extérieur de l'oreille.*

Le cartilage de l'oreille produit en partie la réflexion, en partie la condensation et la transmission des ondes sonores; sous le premier point de vue, la conque surtout mérite notre attention, puisqu'elle rejette les ondes sonores de l'air vers le tragus, d'où elles parviennent dans le conduit auditif. Les autres inégalités de l'oreille ne sont point favorables à la réflexion. Mais on ne pourrait les regarder comme sans but qu'autant qu'on perdrait de vue que le cartilage auriculaire

est lui-même conducteur des ondes sonores. En effet, il reçoit des ébranlemens de l'air, et, comme corps solide, il réfléchit les uns, transmet et condense les autres, ainsi que le ferait tout autre corps solide et élastique, et ainsi que Savart l'a dit avec raison. Il reçoit les ondes sonores dans une grande largeur, et les conduit à son point d'insertion. On peut se faire une idée de la progression de l'ébranlement dans le cartilage auriculaire, d'après les recherches de Savart sur la propagation du choc dans des corps à branches diversement placées, expériences dont je me suis servi plus haut pour expliquer la marche du son dans la chaîne des osselets de l'ouïe. L'onde impulsive communiquée à ce cartilage n'en suit point les inflexions ; mais, comme elle le traverse sans changer sa direction primitive, les parties limitrophes du cartilage, quelque diversifiée qu'en puisse être la situation, sont chassées par le choc dans une direction absolument la même. Cet effet a lieu de molécule à molécule, jusque dans l'intérieur de l'oreille, à la membrane du tympan et aux os de la tête. Il est vrai que la connexion des parois du conduit auditif avec les parties solides de la tête entière, donne lieu à une certaine dispersion, mais les points d'attache de la membrane du tympan reçoivent les ondes par la voie la plus courte, et les transmettent aussi sûrement à la membrane que la paroi d'un tambour les communique à la peau, ou le chevalet d'une corde à celle-ci.

Mais, en considérant le cartilage auriculaire comme conducteur, toutes ses inégalités, élévations et enfoncemens, qui n'avaient aucun but par rapport à la réflexion du son, en acquièrent un. Car les élévations et les dépressions sur lesquelles les ondes sonores tombent perpendiculairement, seront celles qui les recevront avec le plus de force. Mais les inégalités sont tellement diversifiées, que les ondes sonores, de quelque lieu qu'elles viennent, seront toujours perpendiculaires à la tangente de l'une d'elles. De cette manière, on

conçoit le but de la singulière conformation de l'oreille externe.

L'oreille externe des animaux ressemble tout-à-fait à un cornet acoustique dont la direction appartient à la volonté, où les ondes aériennes marchent condensées dans l'air, et dont les parois font en même temps l'office de conducteur. Elle allonge en outre la colonne d'air résonnante du conduit auditif externe, comme le fait un cornet acoustique (1).

H. *Corps solides et air résonnans au pourtour du labyrinthe.*

Tout corps solide limité et toute masse d'air limitée devient un appareil de résonnance au voisinage du labyrinthe. Il faut envisager ainsi non seulement les os de la tête, mais encore tous les cartilages et toutes les membranes qui avoisinent l'organe auditif.

La résonnance de masses d'air limitées fait que notre voix devient plus distincte, non seulement pour les autres, mais même pour nous. Tout espace d'air limité résonne, quand on produit un son. Si l'on place le diapason vibrant snr le goulot d'une fiole à médecine, l'air contenu dans la petite bouteille résonne avec beaucoup de force, tandis que la résonnance est bien plus faible quand on tient le diapason dans le voisinage des parois de la fiole. L'air d'un tuyau résonne avec force, que ce tuyau soit ouvert à l'une de ses extrémités seulement, ou aux deux bouts. Si l'on tient le diapason vibrant immédiatement au devant de la bouche, la résonnance est extrêmement forte, et entendue tant par celui qui tient l'instrument que par une autre personne (2).

(1) Il arrive fréquemment qu'en parlant du cornet acoustique et du porte-voix, on néglige le grand renforcement du son par la colonne d'air limitée et résonnante du tube.

(2) La résonnance sonne comme *u* quand on ouvre peu la bonche, et comme *a* lorsqu'on l'onvre davantage. Le son d'un diapason placé au dessus d'un tube de largeur égale, ayant huit lignes de diamètre et trois pou-

L'enfonce-t-on, au contraire, dans la bouche largement ouverte, le son en est extrêmement faible, tant pour nous-mêmes que pour les autres. C'est à cela qu'il paraît tenir que les personnes dont l'oreille est dure, ont l'habitude d'ouvrir la bouche. On ne doit point songer ici à une audition supplémentaire par les trompes d'Eutache, puisque le son d'un diapason profondément enfoncé dans la bouche est entendu très-faible. Cependant l'habitude qn'ont ces personnes de tenir la bouche ouverte, tient peut-être à ce qu'alors la portion cartilagineuse du conduit auditif externe devient plus large, comme l'a déjà fait remarquer Elliot.

En tous cas, la force de l'audition, lorsqu'on se fait parler, à travers un tuyau, tous près de la bonche ou du nez, dépend en partie de la résonnance des cavités aériennes.

L'air du conduit auditif externe et de la caisse du tympan résonne aussi. On s'en aperçoit déjà lorsqu'on alonge le conduit anditif par le moyen d'nn tuyau qu'on y implante. Non-seulement on entend un bruissement cansé par le mouvement du sang dans l'oreille, comme aussi les petits mouvemens qui ont lieu dans l'air, malgré son apparent repos, et qui, sans être nécessairement des ondes sonores, déterminent l'air du tnbe à produire du son, par un effet semblable à celui que le souffle détermine dans un sifflet, mais encore tout son quelconque, tant celui de sa propre voix, qne celui des corps extérieurs, est accompagné d'une bruyante résonnance. Et si l'on peut constater le fait en allongeant le conduit auditif par l'implantation d'un tuyau, on y parvient aussi en raccourcissant la colonne d'air de ce conduit par un bouchon qu'on y enfonce profondément : car alors, non seulement tous les sons des corps extérieurs paraissent plus faibles, à cause de l'in-

ces et demi de long, et posé lui-même sur la table, est aussi celui de l'*u* quand on retrécit l'ouverture avec la main, et ressemble davantege à l'*a* lorsqu'on laisse l'ouverture du tube entièrement libre.

terruption qu'éprouve la transmission, mais encore on entend moins bien celui de sa propre voix. En disant qu'il ne tombe point alors d'ondes sonores de la bouche dans le conduit auditif, on n'explique pas le phénomène d'une manière suffisante. Assurément, lorsque le conduit auditif est ouvert, les ondes sonores circulaires de notre voix, qui partent de l'ouverture de la bouche dans toutes les directions, y tombent, jusqu'à un certain point, et par la réflexion qu'elles éprouvent de la part de la conque, et par inflexion ; mais on peut neutraliser complétement cette influence, et la voix n'en demeure pas moins forte, quand tout le conduit auditif contient encore de l'air. Si l'on pose les mains à plat immédiatement devant les oreilles, de manière qu'aucune onde sonore de notre propre voix ne puisse plus tomber dans celles-ci, on n'en entend pas moins sa propre voix avec une grande force, parce qu'ici il y a encore la colonne entière d'air résonnant du conduit auditif externe. Mais si l'on bouche en grande partie ce dernier avec le petit doigt ou avec du papier mâché, on n'entend plus que faiblement sa propre voix. La suppression de la résonnance de l'air du conduit auditif est donc en partie la cause qui fait qu'on entend si faiblement sa propre voix lorsqu'on se bouche les oreilles.

IV. Transmission par la caisse du tympan, et transmission par les os de la tête.

La transmission du son par la caisse du tympan imprime au labyrinthe des ébranlemens à travers les fenêtres, d'où les ondes se répandent ensuite dans l'eau labyrinthique.

La transmission au labyrinthe par les os de la tête, qui est la seule chez les Poissons osseux, amène les ondes sonores à ce dernier de tous les côtés avec la même facilité. Cette transmission de tous les côtés a lieu aussi chez les animaux aériens, mais elle ne peut être que très-faible dans l'air, à cause de la difficulté avec laquelle les ondes aériennes se com-

muniquent aux parties solides de la tête. Nous n'avons point occasion de sentir quelle intensité aurait la transmission des ondes aériennes par les os de la tête, si elle était la seule : car, lors même que nous bouchons nos oreilles, l'oreille n'en conduit pas moins ces ondes avec plus de force que ne le font les os de la tête, et les osselets de l'ouïe, en leur qualité de corps limités, font une impression plus forte sur le labyrinthe que les os de la tête, qui ne sont point isolés. Ce renforcement de la transmission par les osselets de l'ouïe peut avoir lieu aussi dans le cas où les ondes aériennes sont amenées en premier lieu par les os de la tête, puisqu'alors aussi elles sont directement conduites à la membrane du tympan et aux osselets de l'ouïe, et que l'appareil de la caisse du tympan résonne. Il en est de même pour les ondes communiquées par notre propre voix aux parties de la bouche, de la gorge et du nez. Elles déterminent également une résonnance de l'appareil de la caisse tympanique. Mais la même chose a lieu aussi pour les ondes que des parties solides transmettent aux os de la tête ; il y a toujours résonnance dans ce cas. Si, après s'être bouché les oreilles, on se pose un diapason résonnant sur le sommet de la tête, le son est extrêmement faible ; il a plus de force quand on fait l'application sur la tempe, il devient de plus en plus fort à mesure que l'on rapproche l'instrument du conduit auditif, et il croît non pas seulement en raison de la diminution de la distance entre le corps sonore et le labyrinthe, mais encore en raison du rapprochement existant entre les parties de la tête qui lui servent de conducteur et l'ouverture extérieure de l'oreille.

La seule transmission des ondes aériennes par les os de la tête ne pourrait être entendue que par une personne chez laquelle l'appareil de la caisse du tympan n'existerait pas, et dont le conduit auditif externe serait bouché. Il est probable qu'alors ces ondes ne seraient point entendues, ou du moins qu'elles ne le seraient que très-faiblement. Mais la faculté

d'entendre des ébranlemens de corps solides transmis aux os de la tête par d'autres corps solides devrait avoir lieu encore si le labyrinthe était intact. On peut employer ce moyen chez les sourds qui n'entendent pas les ondes sonores, pour reconnaître si leur labyrinthe et leur nerf auditif sont encore intacts.

Un sourd qui ne peut entendre aucune onde de l'air, entend quelquefois un fort battement sur le sol, qui lui est transmis par les parties solides de son corps. Cependant il est difficile de distinguer ici ce qui appartient à la sensation de l'ébranlement par le toucher et ce qui appartient à l'ouïe. Tous les sons graves agissent aisément sur les nerfs du toucher, et l'on sent les ébranlemens, comme tact, lorsqu'on s'applique la main sur la poitrine en parlant, ou quand on empoigne un corps solide qui rend du son. Les ondes sonores qu'un sifflet excite dans l'eau ne se sentent pas par le toucher lorsqu'on tient la main dans l'eau ; mais on les sent très-bien lorsqu'en même temps que la main on plonge un corps solide dans le liquide. Ces sensations tactiles de vibrations ont donné lieu à la fausse supposition qu'il est possible d'entendre par d'autres nerfs que par le nerf auditif.

V. Audition des ondes sonores de milieux différens.

A. *Transmission immédiate du son de l'air à l'organe auditif.*

Nous entendons le plus fréquemment par des ondes aériennes, qu'elles aient été produites primairement dans l'air, ou qu'après avoir été excitées dans d'autres corps, elles arrivent à notre oreille par l'intermédiaire de l'air. Les ondes qui ont été produites en premier lieu dans l'air, parviennent à notre organe auditif beaucoup plus fortes que celles qui, engendrées par d'autres corps, se transmettent à l'air. Car, dans ce dernier cas, il y a diminution d'intensité au moment où s'accomplit la communication à l'air. Voilà pourquoi les cordes et les diapasons donnent un son si faible sans caisse résonnante, qui doit communiquer avec le corps solide producteur du son

par le moyen d'un chevalet, ou de toute autre manière. La caisse résonnante est, au contraire, complétement inutile dans les instrumens à vent, parce que l'air est de tous les corps celui qui propage avec le plus d'intensité les ondes primairement déterminées dans l'air. Il ne pourrait y avoir d'autre corps résonnant efficace pour des ondes aériennes primaires que l'air lui-même renfermé dans un espace limité. Un corps solide contribuerait moins à fortifier le son, parce que, quand les ondes sonores passent de l'air dans des corps solides et de ceux-ci dans l'air, il y a diminution de la force des ébranlemens.

De même que les ondes sonores de corps solides se communiquent difficilement à l'air, de même aussi les ondes sonores de l'eau passent avec peine à ce dernier. Si l'oreille se trouve dans l'air, un son provoqué dans l'eau sera toujours perçu très-faiblement par nous, et si la direction des ondes sonores fait un angle très-aigu avec la surface de l'eau et de l'air, il ne le sera pas du tout, ce qui a lieu aussi pour la lumière. Colladon éprouva cette difficulté en faisant ses expériences sur la vitesse de la propagation du son dans l'eau. Un tuyau tenu dans l'eau et dans l'oreille ne lui était presque d'aucun secours, lorsqu'il n'avait pas fixé, à son extrémité inférieure, une plaque solide recevant les ondes sonores de l'eau (1). Car, pour entendre avec force le son de l'eau, quand on est dans l'air, il faut non seulement faire passer les ondes sonores du liquide dans une tige solide et tenir cette tige appliquée à l'oreille, mais encore la mettre en communication avec un bouchon remplissant le conduit auditif, afin d'écarter autant que possible l'intermédiaire de l'air. Il n'y a pas d'autre manière d'entendre le plein son d'une petite cloche qui tinte dans l'eau même (2).

(1) *Relation d'une descente en mer dans la cloche dite des plongeurs*, Paris, 1826, in-8. — *Dictionnaire de l'industrie*, art. CLOCHE DE PLONGEUR, Paris, 1835, t. III, p. 448.

(2) Colladon a trouvé qu'une cloche tintant sous l'eau ne faisait point

S'il faut que le son passe d'abord dans l'eau, puis de celle-ci dans l'air, pour arriver à notre organe auditif, l'affaiblissement est plus considérable encore. Voilà pourquoi les plongeurs n'entendent pas le son produit au dessus de l'eau.

Du reste, dans l'audition au milieu de l'air, la force du son dépend de la densité et de la sécheresse de ce dernier. La rapidité de la transmission augmente bien avec la raréfaction de l'air, mais la force des vibrations diminue en raison de cette même raréfaction. On n'entend presque pas une cloche qui tinte dans le récipient d'une machine pneumatique sous lequel on a fait le vide. Rigoureusement parlant, il n'y a de prouvé par là que la très-grande diminution de l'ébranlement lorsque les ondes passent de la cloche à l'air raréfié, et de celui-ci au récipient. On n'a presque point encore tenté d'expériences sur l'audition immédiate d'ondes aériennes d'air raréfié et condensé, c'est-à-dire de celles qui viennent frapper la membrane du tympan sans traverser de corps solides. Nous ne possédons à cet égard que celle qui a été faite par Saussure sur le sommet du Mont-Blanc, où la détonation d'un coup de pistolet était moins forte qne celle d'un petit pétard tiré dans la plaine.

B. *Transmission immédiate du son de l'eau à l'organe auditif.*

Quand nous plongeons dans l'eau, les ondes sonores de ce liquide arrivent à la membrane dn tympan. Tous les sons engendrés dans l'eau même sont alors parfaitement entendus, comme l'ont démontré les expériences de Nollet et de Monro, et comme le sait quiconque connaît l'art de nager. Les ondes

entendre de son, mais seulement un choc sec et peu prolongé. Cet effet ne pouvait tenir qu'à l'éloignement, ou à l'imperfection du procédé de transmission mis en usage. Car mes expériences m'ont appris que le son d'une cloche qui tinte sous l'eau près de nous n'est dépourvu d'éclat que quand il n'arrive point de l'eau à notre labyrinthe à travers une chaîne de corps solides, et qu'il est obligé de traverser une couche d'air.

sonores passant de l'air dans l'eau sont plus difficiles à entendre dans cette dernière, parce que les ébranlemens des particules vibrantes subissent une diminution considérable au moment du passage.

C. *Transmission immédiate du son de corps solides à l'organe auditif.*

Dans le cas d'ondes aériennes primaires, le son n'est jamais plus intense que quand c'est l'air qui l'amène immédiatement à l'organe auditif : dans celui d'ondes primaires de corps solides, sa plus grande intensité a lieu lorsque ce sont des corps solides qui le transmettent immédiatement à l'oreille. Le son d'un morceau de bois ou de métal est conduit faiblement par l'air ; mais il l'est avec une force extraordinaire lorsqu'on tient entre les dents ou qu'on adapte à ses oreilles un cordon qui aboutit au corps sonore. Herhold et Rafn entendaient le son d'une cueiller à une distance de trois cents aunes par le moyen d'un cordon fixé à la cueiller elle-même, et au moyen de cet artifice, il leur paraissait encore, malgré la distance, semblable à celui d'une cloche. Chacune des parties molles ou solides de la tête est apte à recevoir les ébranlemens de corps solides ; mais les parties molles sont celles qui les transmettent le plus faiblement, lorsqu'on applique sur elles la verge qu'on a mise en contact avec le corps sonore (1). Cette transmission est plus forte dans les points où les os de la tête sont peu couverts, et plus encore dans ceux où ils sont

(1) D'après les observations de Périer et de Larrey sur des individus trépanés, on devrait croire que les ondes se transmettent plus facilement de l'air au nerf auditif par des parties molles seules que par le crâne couvert de la peau. Les trépanés qui se bouchent les oreilles entendent mieux, disent-ils, le son excité au dessus de la plaie cicatrisée. Mais on assure que cet effet, qui d'ailleurs ne me paraît pas suffisamment constaté, n'a lieu que quand l'ouverture se trouve à la partie antérieure de la tête. *Voy.* Larrey, *Clinique chirurgicale*, Paris, 1836, 33.

entièrement à nu, comme aux dents. Quand on saisit une montre entre les dents, le tic-tac se fait entendre de la manière la plus distincte, surtout du côté des dents de la mâchoire supérieure, parce que, de ce côté-là, la transmission n'a lieu qu'au moyen de parties solides. La propagation est plus faible si on met la montre en contact avec la langue, et bien plus faible encore, si l'on se contente de la tenir suspendue dans l'air de la cavité orale. Elle est tout aussi énergique, et même plus encore, à travers les parois du conduit auditif externe, quand on a bouché ce conduit, et interposé une verge entre la montre et le bouchon, ou les parties qui avoisinent immédiatement le canal. Dans ce cas, les ondes des corps solides, au lieu de passer à travers les os de la tête pour arriver au labyrinthe, se transmettent bien plutôt immédiatement à la membrane du tympan et aux osselets de l'ouïe par une chaîne de parois solides, et notamment par les parois du conduit auditif. L'effet du cornet acoustique des personnes qui ont l'ouïe dure, tient en partie au non-affaiblissement de la propagation des ondes aériennes, en partie à la résonnance de la colonne d'air du cornet, mais en partie aussi à la communication des parois résonnantes de ce dernier avec les parties solides du conduit auditif. On peut acquérir la preuve que cette dernière particularité a de l'importance en examinant ce qui arrive dans un cas où les ondes aériennes n'éprouvent point de condensation. Si l'on fait parler quelqu'un dans un tuyau, et qu'après s'être bouché les oreilles, on saisisse le tuyau par le côté avec les dents, on entend un son extraordinairement fort, dépendant de la résonnance du tuyau, qu'on entendrait à peine par l'air seul arrivant à l'oreille.

La transmission immédiate de parties solides aux parties solides du conduit auditif entre aussi en jeu lorsqu'on entend un son en appliquant son oreille au sol. Si l'oreille est bouchée, et que le bouchon touche la terre, la transmission est bien plus forte encore. Naturellement on ne peut percevoir

avec intensité, de cette manière, que des sons qui naissent primairement dans le sol, ou qui, excités dans des parties solides, sont conduits au sol par des parties solides, comme le bruit des pas de l'homme et du cheval. Quant aux ondes aériennes primaires, elles se transmettent beaucoup plus difficilement au sol, et ne trouvent pas en lui un conducteur qui convienne pour les amener à l'oreille posée contre terre.

La même chose a lieu dans l'application du stéthoscope. Des sons excités dans des parties solides, ou transmis à travers des parties solides, sont amenés par cet instrument aux parties solides de l'oreille appuyée contre lui. Le stéthoscope ne produit guères plus d'effet que l'oreille elle-même appliquée sur la partie, si ce n'est par sa résonnance. Dans la disposition qu'on a coutume de lui donner, il s'opère deux modes de transmission, l'une des parties solides du corps qui produit le son aux parties solides de l'organe auditif par le bois, l'autre des parties solides du corps qui excite le bruit à la colonne d'air contenue dans l'instrument, puis de cet air à la membrane du tympan. La seconde transmission est beaucoup plus difficile, parce que les ondes sonores passent avec peine de la surface du corps humain à l'air; mais elle est utile néanmoins par résonnance. De là vient qu'une verge simple ne remplit pas le même office qu'un stéthoscope. Mais on peut aussi entendre le son avec force par le moyen de cette simple verge, en se bouchant l'oreille avec du papier mâché, et appliquant le conducteur non pas sur le bouchon, car les frottemens troubleraient l'observateur, mais sur les parties molles qui entourent l'oreille externe; alors la transmission de parties solides aux parois du conduit auditif, et delà à la membrane du tympan, s'accomplit d'une manière plus complète par le secours du bouchon.

Chez les personnes qui ont l'ouie dure, et qui ne perçoivent plus les ondes aériennes, même à l'aide d'un cornet acousque, il est quelquefois utile de convertir ces ondes aériennes

en ondes de corps solides, et de faire entendre celles-ci par le contact du corps solide. Ce qu'il y a de mieux pour cela, lorsqu'il s'agit de procurer le moyen d'entendre la voix d'autrui, c'est de faire parler dans un bassin d'où part une verge, que le sourd saisit entre ses dents ou applique contre un bouchon placé dans son oreille (1).

VI. Propriétés acoustiques du labyrinthe.

A. *Eau du labyrinthe.*

Parmi les dispositions acoustiques du labyrinthe, il en est une, la plus générale de toutes, et qui ne manque jamais, à laquelle nous devons d'abord consacrer notre attention ; je veux parler de l'eau du labyrinthe. Dans tous les cas, en effet, les vibrations sont converties en vibrations de l'eau avant de rencontrer les nerfs auditifs. Pourquoi la nature a-t-elle évité, chez le plus grand nombre des animaux, de transmettre à ces nerfs les ondes sonores communiquées aux os de la tête, sans employer entre eux et ces derniers l'intermédiaire de l'eau ? Chez les animaux aériens on découvre de suite la raison : c'est que la transmission des ondes sonores de l'air aux parties solides de la tête présente trop de difficultés, tandis que celle de l'air à l'eau, par le moyen d'une membrane tendue, est au contraire très-facile, soit que la membrane elle-même se trouve en contact avec l'eau, soit qu'elle n'agisse sur elle que par l'intermédiaire d'un corps solide, limité et mobile. Mais cette explication ne convient point aux animaux qui vivent dans l'eau. La communication des vibrations de l'eau à des corps solides, et par conséquent aux os de la tête (comme chez les Poissons osseux), est facile. Cependant, même ici, les vibrations des os de la tête sont également réduites en vibrations

(1) *Consultez*, à ce sujet, CHLADNI, *Akustik*, p. 262, 286, et LINCKE, *loc. cit.*, p. 530.

de l'eau du labyrinthe, pour se transmettre ensuite de ce liquide aux nerfs auditifs. Il doit donc y avoir une cause plus générale; nous la trouverons vraisemblablement dans ce qui suit. Le but final de l'organe auditif est une communication complète des ondes d'ébranlement aux fibres nerveuses. Celles-ci étant, comme tous les nerfs, molles et pénétrées d'eau, la transmission des ondes impulsives de parties solides à ces organes mous, serait déjà en partie une réduction à des vibrations d'eau. Mais, indépendamment de la mollesse dont les nerfs sont redevables à l'eau qui les imbibe, les interstices de leurs fibres, de même que ceux de toutes les parties molles, sont remplis de liquide, de sang ou de liquide du tissu cellulaire. Quand la propagation des ondes d'impulsion a lieu de l'eau du labyrinthe aux fibres du nerf auditif, le milieu de la plus prochaine transmission est homogène avec celui qui occupe toutes les porosités et tous les interstices du nerf lui-même. Il suit de là que la vibration des particules de ce dernier est beaucoup plus homogène qu'elle ne le serait si ses surfaces se trouvaient seulement en contact avec des parties solides, car alors celles de ses molécules qui toucheraient à des parties solides auraient une autre contiguïté que celles qui seraient placées plus avant dans l'intérieur même du nerf, et par cela même éloignées de la surface mise en rapport immédiat avec les parties solides. Muncke dit, eu égard à l'eau du labyrinthe, que l'eau, bien qu'incapable d'engendrer du son, le conduit parfaitement, et même mieux que ne le fait l'air. Je ne saurais accorder cela, et il ne peut s'agir ici que de la vitese de la propagation; car l'air et l'eau sont les corps qui propagent leurs propres ondulations avec le moins d'affaiblissement possible.

Les aquéducs, comme on les nomme, me paraissent devoir n'occuper aucune place dans la physiologie de l'ouïe. Ils ne contiennent ni canaux membraneux, ni liquides, ni même aucun tronc veineux; ce ne sont que de simples communica-

tions entre le périoste et la dure-mère d'une part, le périoste intérieur du labyrinthe de l'autre.

Il y a trois degrés dans le développement du labyrinthe ; 1° simple vestibule, avec une vésicule ; 2° vestibule avec des canaux semi-circulaires, et conformation analogue du labyrinthe membraneux ; 3° le degré précédent avec un limaçon.

B. *Vestibule. Canaux semi-circulaires.*

Ordinairement on assigne pour fonction aux canaux semi-circulaires, avec Scarpa, de recueillir les ondes des os de la tête. Quand il s'agit de canaux, on a trois choses à considérer, l'aptitude de leur contenu à résonner, la propagation condensée dans leur intérieur, et la résonnance de leurs parois.

En ce qui concerne d'abord la résonnance du contenu d'un tuyau, il faut lui refuser toute espèce d'importance dans le labyrinthe, puisque l'eau, étant limitrophe à des corps solides, ne possède vraisemblablement point en soi de résonnement notable provenant de la réflexion des vagues par ses limites. Elle paraît également apte à rassembler les ondes sonores de corps solides. Si je versais de l'eau dans les gouttières d'une table de dissection qui ont de nombreuses communications ensemble, et qu'ensuite je misse un diapason vibrant à l'extrémité de cette table, le conducteur plongé dans l'eau seulement ne me faisait pas entendre le son plus fort dans le liquide, que quand je le mettais en contact avec de l'eau répandue sur une petite étendue de la surface de la table. Je fis percer dans une planche épaisse, des canaux parallèles à sa surface ; cette planche pouvait être introduite dans le côté d'un baquet en bois, de manière que les ouvertures des canaux communiquassent avec la cavité du baquet; je remplissais d'eau ce dernier, et par lui les canaux, puis, avec un sifflet fermé par une membrane, j'excitais des ondes sonores dans l'eau du vase ; le conducteur ne me faisait pas entendre le son plus faible quand les trous de communication des canaux avec le

baquet étaient clos par des bouchons, que lorsqu'ils étaient onverts.

On se demande maintenant jusqu'à quel point un tuyau plein d'eau pent être comparé avec nn tuyau de communication condncteur de son et plein d'air. On sait que, dans ce dernier, le son se propage sans que son intensité subisse presque aucun changement, parce que les ondes de l'air se communiquent difficilement anx parois solides du tuyau, et qu'elles éprouvent aussi une réflexion aux courbures. Il en est tout autrement dans un tuyau plein d'eau qni conduit des ondes sonores aqneuses; quelque peu de réflexion a bien lieu aussi dans l'eau; mais celle-ci abandonne bien plus facilement ses ondes à des corps solides qu'à l'air, et la force de l'ébranlement qui marche suivant une certaine direction dans l'eau ne se maintient que jusqu'à une très-petite distance dans des tuyanx pleins d'eau. Ainsi, par exemple, si j'unissais le bout fermé par une membrane du sifflet d'un pied avec un tuyau long de quatre pouces, snr huit lignes de large, et que je le tinsse dans l'eau de manière que la membrane fût tont entière en contact avec le liqnide, le son de la colonne d'air ébranlée par le souffle s'entendait bien avec plns de force, au moyen du conducteur, à l'extrémité du tuyan, et par conséquent au bout d'une longuenr de quatre ponces, que dans le reste de l'eau, avec plus de force que dans le liquide baignant le côté extérieur du tuyau de commnnication, et avec plus de force qu'à distance égale sans tuyan de communication; mais quand la longnenr de ce dernier tuyau était d'un pied, il me devenait impossible d'apercevoir dans l'eau du bassin, à l'extrémité du tnyau, un son plus fort que dans les antres points du liquide. J'unis aussi deux baquets par le moyen d'un tube de verre long de six pieds, et je n'obtins rien d'analogue à l'effet d'un tuyau de communication; le son n'était point entendu plus fort à l'extrémité du tube dans l'ean, que quand j'approchais le conducteur des parois résonnantes du baquet.

Il suit de là qu'avec les canaux semi-circulaires on doit bien compter sur quelque peu d'intensité de plus de la transmission du son dans la direction de leur courbure, mais que cette propagation non affaiblie par des tuyaux n'est pas à beaucoup près aussi parfaite que dans des tuyaux remplis d'air.

Une condensation, mais très-légère seulement, résulte de ce qu'une même onde qui pénètre dans le vestibule par la branche de son canal, rebrousse chemin par la branche opposée avec une partie de son impulsion. Ed. Young a calculé là-dessus.

Si l'impulsion arrive, non par les fenêtres, mais par les os de la tête, comme chez les Poissons, et en partie aussi chez nous, ce degré de condensation par les canaux semi-circulaires aura lieu également.

Enfin il faut encore avoir égard, dans les canaux semi-circulaires, à la résonnance des os de la tête par les vibrations de l'eau du labyrinthe. Car, au voisinage de parois solides plongées dans l'eau et auxquelles des ondes sonores sont communiquées, celles-ci sont toujours plus fortes qu'elles ne le sont, toutes choses égales d'ailleurs, dans le reste de l'eau. Il va sans dire que le conducteur ne doit pas toucher les parois elles-mêmes. Quand deux parois qui résonnent dans l'eau sont rapprochées l'une de l'autre, les ondes du liquide entre elles ont naturellement plus de force encore. On peut s'en convaincre dans l'appareil qui vient d'être décrit, la planche percée de canaux et mise en communication avec un baquet d'eau. Si l'on tient le conducteur, dans l'intérieur du canal de la planche, écarté du baquet, le son communiqué à la planche par un diapason est entendu avec un peu plus de force que quand, la distance des parois du baquet restant la même, on rapproche le conducteur. Il faut, dans ces cas, pour arriver à un résultat rigoureusement comparatif, avoir soin que la portion du conducteur qui entre en contact avec l'eau soit toujours de même longueur ; car le son devient plus fort lors-

qu'on enfonce le conducteur à une plus grande profondeur.

Si maintenant on admet que les canaux semi-circulaires membranenx sont en état de rassembler la résonnance des os de la tête dans l'eau, et de la mieux conduire dans la direction de leur arqûre que dans celle de l'ébranlement, le renfoncement profitera aux ampoules et au sinus commun, où le nerf s'épanouit.

Cet effet doit devenir beaucoup plus fort encore en raison du contact plus intime des canaux membraneux avec les canaux solides. Mais un fait important pour la physologie de l'ouïe nous conduit aussi à assigner aux canaux semi-circulaires membraneux un concours indépendant des parties solides qui les entourent, et ce fait est que les canaux semi-circulaires de la Lamproie ne sont nullement isolés par des parties solides enveloppantes, qu'ils sont situés dans la même capsule solide que le sinus commun.

Autenrieth et Kerner admettaient que les différens canaux peuvent indiquer au nerf la direction du son. Mais, si l'on excepte l'action plus forte sur l'une des oreilles, et la différence d'intensité du son suivant la direction du conduit auditif et de la conque, la direction du son paraît ne point être un objet de la sensation. Et quand bien même nous serions en état de distinguer la direction de l'ébranlement des particules vibrantes, il y aurait toujours deux de ces directions, et en sens inverse, car les particules vibrent aussi en arrière, et leurs vibrations d'arrière en avant et d'avant en arrière alternent d'une manière régulière dans un son.

Les pierres auditives contenues dans le labyrinthe des Poissons et des Reptiles ichthyomorphes (1), et la bouillie

(1) Les otolithes des Poissons osseux ont une structure analogue à celle de l'émail des dents. Ceux de l'Ammodyte sont formés de couches concentriques, dans lesquelles on reconnait, au premier coup d'œil, une structure fibreuse régulière. Si, après avoir poli les lamelles, on les traite

cristalline qu'on trouve dans celui des autres animaux, devraient fortifier le son par résonnance, même quand ces corps ne toucheraient pas les membranes sur lesquelles les nerfs s'épanouissent. Mais ces corps touchent les parties membraneuses du labyrinthe ; les parties membraneuses et le nerf reçoivent donc de ces parties solides, et en raison de l'étendue des points de contact, des ondes impulsives, qui ont plus d'intensité que celles de l'eau ; car lorsqu'on plonge la main seule dans l'eau, on ne sent point les vibrations que celle-ci éprouve en conduisant le son, tandis qu'on les perçoit quand on tient un morceau de bois à la main.

Tel me paraît être le véritable usage de la bouillie cristalline et des pierres auditives. On ne saurait justifier, physiqnement parlant, l'assertion que la poussière cristalline est rejetée par les parois, pendant l'audition, comme la poussière se trouve lancée à la surface des plaques et des membranes vibrantes ; car jamais on ne voit les corpuscules contenus dans l'eau exécuter le moindre mouvement pendant la transmission du son à travers ce liquide.

Des expériences directes ne sont point faciles à faire. Je renfermai de l'eau et du sable dans un morceau de vessie de cochon humectée, et je fis du tout une espèce de petit sac, que j'aplatis, pour imiter le labyrinthe membraneux avec la bouillie cristalline, et j'examinai, avec le conducteur, son action sur les ondes sonores excitées dans l'eau par le sifflet. Le sachet fut tenu dans le liquide entre le bout du sifflet et le conducteur, sans qu'il touchât ni l'un ni l'autre. Le son fut plus fort que si, toutes choses égales d'ailleurs, le petit sac n'eût point été là. Toutefois, je remarquai, dans une contre-expérience, que ce petit sac membraneux aplati, contenant de l'eau

par l'acide chlorhydrique, on voit que les couches résultent d'un assemblage de petits corpuscules pointus semblables à ceux que j'ai décrits dans l'émail non encore durci. *V.* Poggendorff, *Annalen*, 38.

seulement, sans sable, fortifiait également le son par résonnance. Je n'ai pas pu m'expliquer à quoi tient la résonnance de parties membraneuses dans l'eau. L'humérus d'un oiseau, dépouillé de ses sels calcaires, et mis en contact avec de l'eau en dehors comme en dedans, ne montra presque pas de résonnance; il en fut de même d'un morceau d'intestin de veau rempli d'eau, et quand j'excitais un son dans l'eau, les choses se passaient absolument de la même manière, soit que le conducteur fût appliqué à un long lambeau d'intestin, soit que, la distance du point d'origine du son restant la même, il le fût à un court lambeau plongé dans le liquide.

C. *Limaçon.*

Il faut avoir égard, en étudiant l'acoustique du labyrinthe, à la direction que suit la propagation de l'ébranlement et des ondes dans l'eau et les parties solides de cette région de l'oreille. Les recherches de Savart sur la transmission des ondes impulsives de corps solides à l'eau, et de l'eau à des corps solides, peuvent être appliquées ici. Cette transmission paraît s'accomplir de la même manière absolument que dans d'autres milieux. Supposons que *a* soit un vase plein d'eau, *b* une verge fixée à son fond, et *c* une plaque de bois flottante sur le liquide, les ondes longitudinales qui viennent à être excitées dans la verge se transmettent, au travers de l'eau, à la plaque, suivant la même direction, comme l'indique le sautillement du sable à la surface de cette dernière. En outre, *a* étant un vase plein d'eau, et *b* une plaque qui flotte sur celle-ci, mais dont les bords sont obliques aux parois du vase *a*, si l'on passe un archet de violon sur les parois, de manière à les faire vibrer dans la direction des flèches, l'ébranlement se transmet par l'eau à la plaque, et ensuite par celle-ci en

Fig. 72.

conservant la même direction; de sorte que l'obliquité des bords de la plaque par rapport à la direction du son, ne change rien à la direction dans laquelle ce dernier se propage. La transmission a donc lieu absolument, dans le premier cas, comme si la verge *b* faisait corps avec la plaque *c*, et dans le second cas, comme si la paroi *a* était unie par une verge à la plaque *b*, dont la surface lui est perpendiculaire. Ainsi les lois de la propagation de l'ébranlement à travers des plaques qui se rencontrent sous des angles, s'appliquent aussi au labyrinthe.

Fig. 73.

Des faits précédemment exposés, il suit que *a b c* et *d* étant des plaques unies ensemble, lorsqu'on communique des ondes sonores à la plaque *a*, dans la direction de la flèche, ces ondes se propagent en suivant la même direction à travers la tige *b d* qu'à travers la plaque supérieure *c c'*. Appliquons ceci au Limaçon. La tige *b d* est comparable à la columelle, et les plaques transversales correspondent à la lame spirale. Si, à la figure 73, on substitue la figure 74, l'analogie saute encore davantage aux yeux. En quelque direction donc que des ondes sonores soient communiquées ou à la columelle, ou à la lame spirale elle-même, la direction de l'ébranlement demeurera constamment la même, soit que l'impulsion ait été transmise des os de la tête à la columelle ou aux parois du limaçon, et de celles-ci à la lame spirale, soit qu'elle l'ait été d'une de ces parties à l'eau du labyrinthe. Quant à ce qui concerne les vibrations partant de l'eau du labyrinthe, la fenêtre ovale est dirigée de telle manière qu'une ligne perpendiculaire tirée sur son champ, marche presque parallèlement à la columelle du Limaçon, d'où il suit que les ébranlemens

Fig. 74.

qui partent de cette fenêtre excitent vraisemblablement, dans les parties solides du limaçon, des secousses ayant la même direction que la columelle ; c'est-à-dire que ce sera la lame spirale qui aura le plus de facilité à vibrer, dans toute son étendue, suivant une direction presque perpendiculaire à sa surface. Je reconnais aisément, à l'aide du conducteur, la direction de l'ébranlement dans des plaques qui se communiquent un son au milieu de l'eau ; le son est toujours plus fort lorsque le conducteur est placé sur les plaques dans une direction parallèle à celle suivant laquelle a lieu la propagation de l'ébranlement.

Dans l'exposé qui précède, les diverses parties du limaçon ont été considérées comme étant affectées simultanément, ou à peu près, par l'ébranlement. Il reste maintenant à savoir s'il ne pourrait pas aussi s'opérer une transmission successive de l'ébranlement le long des spires du limaçon, c'est-à-dire depuis le vestibule ou la fenêtre ronde jusque dans la coupole, de manière, ou que l'eau la propageât successivement par les rampes, ou que cette succession eût lieu le long de la ligne spirale. Comme le canal du limaçon, et avec lui la lame spirale, présentent une longueur considérable, puisque les tours ont dix-huit à dix-neuf lignes au pourtour extérieur, il pourrait se faire, dans le cas où la propagation de l'ébranlement s'accomplirent le long des tours du limaçon, que celui-ci fût destiné à prolonger l'impression : mais cette hypothèse est fort douteuse. Une propagation semblable devrait avoir lieu, par l'air, dans un tuyau roulé sur lui-même. Au contraire, la facilité avec laquelle l'ébranlement se communique de l'eau à des parties solides, fait que la transmission successive des spirales d'eau logées dans un corps solide, ne se maintient pas pure, et que les ondes, en partant du commencement des tours, passent presque aussi aisément à travers la columelle, dans une autre partie des tours. Ce mode de transmission n'est guère possible non plus par la lame spirale, puisqu'elle

se continue avec les parois solides du limaçon, et qu'elle a tout autant de facilité à communiquer les ondes qu'elle reçoit aux parois du limaçon et à la columelle, qu'à les conduire elle-même plus loin. Mais les ébranlemens imprimés à la columelle et aux parois du limaçon rencontreront d'autres parties de la lame spirale, indépendamment de la propagation qui a lieu dans cette lame elle-même. Il n'y aurait qu'un seul moyen pour que l'onde impulsive pût suivre le canal du limaçon, ce serait que ce canal ne tournât pas sur lui-même, et qu'il fût disposé en ligne droite, dans toute sa longueur, et dans la direction du son.

D'après cela, il est certain qu'on ne peut point compter sur cette marche non troublée de l'ébranlement dans l'eau du limaçon, et à la surface de la lame spirale. D'ailleurs, il serait plus nuisible qu'utile à la netteté de la sensation que les ébranlemens parcourussent ainsi une étendue d'un pouce et demi de parties riches en nerfs; car, pendant ce trajet des ondes, certaines particules du nerf se trouveraient au maximum d'ébranlement et de condensation, tandis que d'autres n'auraient point encore atteint leur maximum, comme dans le retentissement. Les tours du limaçon doivent bien plutôt, en resserrant le canal de l'organe dans un petit espace, obvier à cet inconvénient, en supposant qu'il pût avoir lieu.

La lame spirale du limaçon doit donc être considérée comme une plaque portant des fibres épanouies, sur laquelle toutes les fibres du nerf reçoivent presque simultanément l'onde sonore, et atteignent simultanément leur maximum de condensation, puis leur maximum de raréfaction : d'après cette théorie, il serait, en général, à peu près indifférent que les fibres nerveuses s'épanouissent sur plusieurs lames circulaires, disposées autour de la columelle, comme dans la figure qui précède, ou sur une même plaque contournée en hélice. Cette dernière forme, que la nature a adoptée, présente l'avantage que toutes les parties de la plaque font corps en-

semble, et se communiquent avec plus de facilité leurs ébranlemens.

Les tours du limaçon ont en même temps un autre avantage, celui de réaliser, sous le plus petit espace possible, la surface considérable qui était nécessaire pour l'expansion des fibres nerveuses.

La destination finale du limaçon paraît être d'étaler les fibres nerveuses sur une lame solide, qui soit en contact tant avec les parois solides du labyrinthe et de la tête, qu'avec l'eau du labyrinthe, et qui, indépendamment de cet avantage, ait encore celui d'être limitée. C'est de ce principe que doivent être dérivés tous ses avantages acoustiques.

L'union de la plaque avec les parois solides du labyrinthe rend le limaçon propre à l'audition des ondes sonores des parties solides de la tête et des parois du labyrinthe. Cet usage lui a déjà été assigné par E.-H. Weber. Le labyrinthe membraneux se trouve libre dans l'eau du labyrinthe, et il est évidemment plus approprié à l'audition des ébranlemens communiqués à cette eau elle-même, que les ébranlemens arrivent à celle-ci par les os de la tête, comme chez les Poissons, et les dents, comme chez l'homme qui place une montre entre ses mâchoires, ou par la fenêtre. Sans doute, le labyrinthe membraneux est exposé à la résonnance des parois solides du labyrinthe; car les ondes sonores communiquées à l'eau sont toujours, comme je l'ai fait voir, entendues avec plus de force dans le voisinage des parois. Cependant il ne reçoit jamais immédiatement ces ondes que de l'eau. Au contraire, la lame spirale du limaçon, faisant corps avec les parois solides du labyrinthe, reçoit immédiatement de ces dernières les ébranlemens qui leur sont communiqués. Il y a là un avantage considérable, car les secousses transmises aux parties solides ont, toutes choses égales d'ailleurs, une force absolue plus grande que celles de l'eau.

Ceci ressort en toute évidence des expériences que j'ai déjà

relatées. Si, pour comparer l'intensité des ébranlemens des corps solides et de ceux de l'eau, on appliquait d'abord le conducteur aux corps solides, puis qu'on le plongeât dans l'eau, on se tromperait. En effet, les ébranlemens des corps solides passent, sans changement dans leur intensité, au conducteur mis en contact avec ces derniers, tandis que ceux de l'eau ne lui parviennent qu'affaiblis dans ce liquide. Mais si, pour comparer des ondes sonores dans l'eau, au moyen du conducteur, on place ce dernier d'abord au voisinage de parois solides qu'il ne touche pas, puis à distance d'elles, le milieu au sein duquel s'opère la comparaison est le même dans les deux cas. Dans l'un et l'autre, le conducteur fait entendre des sons qui proviennent de l'eau. Les deux sortes d'ébranlemens sont ici réduits au même milieu. Or comme, même lorsqu'un son vient à être excité dans l'eau, l'eau résonne avec plus de force dans le voisinage des parois du vase que dans d'autres points de son étendue également distans de celui d'où le son tire son origine, il suit de là que, toutes choses égales d'ailleurs, les ondes sonores des corps solides agissent avec plus d'intensité que celles de l'eau. D'où l'on voit de suite quelle est la grande utilité du limaçon.

Cependant le limaçon n'a pas été établi uniquement dans cette vue. Sa lame spirale reçoit encore du vestibule et de la fenêtre ronde, tout aussi bien que le labyrinthe membraneux, les ondes impulsives de l'eau du labyrinthe. Elle est même mieux disposée pour cela, chez l'homme et les Mammifères, que le labyrinthe membraneux, puisque sa qualité de corps solide et limité la rend susceptible de résonnance. On peut se convaincre de cet effet par une expérience. Place-t-on une plaque mince de bois dans un vase en bois plein d'eau et à parois fort épaisses, cette plaque, toutes choses égales d'ailleurs, résonne avec plus de force dans le liquide que ne le font les parois épaisses du vase. En effet, quand on excite des ondes sonores dans l'eau par le moyen du sifflet clos à l'aide

d'une membrane, en dirigeant l'extrémité de ce dernier, dans le liquide, perpendiculairement à la plaque fixée, sans cependant la lui faire toucher, le conducteur fait entendre le son avec force partout dans le voisinage des parois de la plaque, mais à distance du point d'où le son tire son origine. Si l'on dirige le sifflet, sans rien changer à la distance, vers les parois du vase épais en bois, le conducteur donne aussi la perception d'un son fort au voisinage des parois, mais l'intensité n'est pas la même que dans le cas précédent. Peu importe que la plaque soit fixée à un bord seulement, ou à deux bords opposés, pourvu que ses côtés soient libres et en contact avec l'eau.

Enfin on entrevoit pourquoi les fibres du nerf sont étalées les unes à côté des autres sur la lame spirale.

Plus le nerf auditif s'étendrait en couches épaisses sur les parties solides du limaçon, moins il recevrait les ébranlemens de ces derniers, puisqu'il n'est pas homogène avec elles; mais plus les couches qu'il y forme sont minces, plus les ébranlemens des parties solides se communiquent avec facilité à ses fibres, qui sont en contact avec elles.

L'intensité de la communication croît, en outre, avec la surface du corps que les ondes sonores touchent. Si, après s'être bouché les oreilles, on tient le conducteur dans de l'eau où l'on excite un son, ce son augmente d'intensité à mesure qu'on enfonce le conducteur, c'est-à-dire à mesure que la surface qu'il présente à l'eau acquiert plus de largeur.

CHAPITRE III.

Des effets des ondes sonores sur les nerfs auditifs, et de l'action propre à ces derniers.

I. Effets des ondes sonores sur les nerfs auditifs.

La discussion doit partir ici des propriétés dont jouissent les ondes qui parviennent dans le labyrinthe.

On doit distinguer les qualités suivantes dans une onde

impulsive qui est excitée par un corps produisant du son et qui arrive au labyrinthe :

1° Son volume et la durée de son impression;

2° Sa longueur;

3° L'amplitude des excursions, ou l'étendue de l'espace que parcourent les parties vibrantes.

Le volume des ondes est l'extension de cette onde dans la direction suivant laquelle elle marche. Le volume d'une onde dans un milieu qui transmet du son, dépend en partie du temps que le corps vibrant d'une manière sonore emploie d'une vibration à l'autre, ou pour accomplir une vibration entière, en partie de la faculté conductrice du milieu que le son parcourt. La colonne d'air du tuyau d'orgue de trente-deux pieds exécute, par minute, trente-deux doubles vibrations, ou seize ébranlemens dans une même direction. Une partie des doubles vibrations produit la condensation du milieu conducteur, ou la protubérance de l'onde; l'autre produit la moitié récurrente de la vibration, la raréfaction ou la dépression de l'onde. Comme la vitesse du son dans l'air est de 1022 pieds par seconde, la distance entre le commencement et la fin d'une onde impulsive, ou l'épaisseur d'une onde dans l'air, est de mille vingt-deux divisé par seize, ou à peu près de soixante-quatre pieds pour l'*ut* du tuyau d'orgue de trente-deux pieds.

Pour l'*ut* du tuyau de seize pieds, qui a soixante-quatre doubles vibrations, ou trente-deux ébranlemens dans le même sens, l'épaisseur de l'onde dans l'air est de mille vingt-deux divisé par trente-deux, ou d'environ trente-deux pieds.

Pour le son du tuyau de huit pieds (ut_1), qui a cent vingt-huit doubles vibrations ou soixante-quatre ébranlemens dans le même sens, l'épaisseur de l'onde dans l'air est de mille vingt-deux divisé par soixante-quatre, ou d'environ seize pieds.

Cette longueur de l'onde dans l'air est de huit pieds pour le son du tuyau de quatre pieds (ut_2). Elle est de quatre pieds

pour l'ut_5, de deux pieds pour l'ut_4, d'nn pied pour l'ut_6.

La vitesse du son dans l'eau est quatre fois plus grande que dans l'air, et s'élève à quatre mille quatre vingt dix pieds par seconde. Donc l'épaisseur des ondes est plus considérable dans l'eau, suivant la même proportion, c'est-à-dire qu'elle est de deux cent cinquante-six pieds pour le son du tuyau de trente-deux pieds, de cent vingt-huit pour celui de seize pieds, de soixante-quatre pour l'ut_1, de trente-deux pour l'ut_2, de seize ponr l'ut_3, de huit pour l'ut_4, de quatre pour l'ut_5. C'est donc avec cette épaisseur que les ondes traversent l'eau du labyrinthe, et l'on voit d'après cela que le peu d'ampleur de ce dernier ne permet pas que, même dans les sons les plus élevés, plusieurs ondes le traversent simultanément, qne loin de là, généralement parlant, la protubérance d'nne onde, ou son sommet, son maximum de condensation, l'a quitté, quand il est rencontré par la protubérance de l'onde suivante.

La durée de l'impression qu'une onde prodnit sur une particule quelconque du labyrinthe, en la traversant, dépend de la dnrée d'une vibration du corps qui produit le son. Cette durée est d'un seizième de seconde pour l'*ut* du tuyau de trente-deux pieds; elle est d'un mille-vingt-quatrième de seconde pour l'ut_6.

Il faut encore, pour certains cas, distinguer l'épaisseur des ondes de la distance des ondes. Quand le son est dû à des corps qni vibrent par va-et-vient, cette distance est égale à zéro, et les ondes se touchent immédiatement, comme le représente la figure ci-contre, avec cette seule différence qu'au lieu des inflexions, il faut imaginer des condensations et des raréfactions. Mais si le son doit naissance à des ébranlemens entre lesquels il y ait des mouvemens de repos, le milieu conducteur est arrivé au repos, derrière une onde,

Fig. 75.

avant que l'onde suivante commence, comme l'indique la figure ci-contre. Cela peut avoir lieu lorsque les sons proviennent du simple choc, comme dans la roue de Savart et dans la Sirène. En conséquence, il peut y avoir certaines conditions dans lesquelles la durée de l'impression, ou celle du passage des ondes à travers un point donné du labyrinthe, soit plus courte que les intervalles de temps qui séparent leurs maxima.

Il s'opère, dans l'épaisseur d'une onde, une gradation insensible de la densité, depuis le commencement jusqu'à la fin. Au commencement de l'onde, la densité commence à croître ; elle atteint le maximum à la fin du premier quart, et diminue jusqu'à la moitié de sa longueur ; dans le reste de l'onde, il y a raréfaction, puisqu'ici les molécules, auparavant condensées, tendent à s'éloigner les unes des autres. La raréfaction va toujours en augmentant vers le dernier quart, où elle diminue de nouveau.

Tandis que l'onde impulsive marche dans le labyrinthe, toutes ses particules passent successivement par ces degrés de condensation et de raréfaction dans la direction du l'ébranlement.

Comme la condensation est produite par un rapprochement, et la raréfaction par un éloignement des molécules, toutes les particules de l'onde parcourent en même temps une certaine étendue de l'ébranlement. Cette étendue est peu considérable au commencement de l'onde, car l'ébranlement communique un mouvement d'autant moindre aux molécules, qu'elles sont plus distantes du point primordialement ébranlé. Dans la partie postérieure de l'onde, les molécules s'écartent les unes des autres, et leur vitesse y est affectée de la même différence. Au passage de l'onde par un point du milieu qu'elle parcourt, les molécules qui se trouvent en ce lieu éprouvent successivement une condensation croissante, puis une condensation diminuante, et, dans la partie postérieure de l'onde, elles reviennent à l'état de raréfaction. En même temps, la vitesse avec laquelle les molécules du milieu se meuvent pen-

dant le passage de l'onde à travers ce point, devient successivement plus grande, atteint un maximum, puis se ralentit. Pendant le passage de la dépression de l'onde à travers ce point, la particule exécute sa vibration récurrente avec une rapidité d'abord croissante, ensuite décroissante. Tout cela est applicable au nerf auditif.

L'épaisseur des ondes demeure la même pendant la propagation de son à toutes les distances; mais l'amplitude des excursions des particules vibrantes croît avec le carré de ces distances. De la seule amplitude des excursions des particules vibrantes dépend l'intensité ou la force du son ou de l'ouïe.

La forme des ondes dans l'air est sphérique. L'organe de l'ouïe n'est rencontré que par un segment de cette sphère, qu'on peut appeler la largeur de l'onde, ou son étendue en surface. La largeur des ondes qui profitent à l'ouïe dépend de l'étendue en largeur dans laquelle le nerf auditif est frappé par l'onde. Les ondes qui parviennent de la caisse du tympan au labyrinthe, n'ont, à leur entrée dans le labyrinthe, que la largeur de la fenêtre ovale ou de la fenêtre ronde; mais, à partir de ce point, elles s'étalent.

II. Distinction des sons.

Il paraît suffire, pour la sensation du son, d'un simple ébranlement imprimé au nerf auditif, comme par une explosion, par la division de l'air, par la réunion de deux couches séparées d'air, dans le bruit du fouet, etc. Rien, du moins, ne s'oppose à ce qu'on adopte cette manière de voir, et Chladni la trouve vraisemblable, quoiqu'on doive avouer que même un simple ébranlement détermine des ondes dans l'air. Nul doute que la perception de l'ébranlement comme son ne dépende le plus souvent de plusieurs ondes. Cependant la question peut être soulevée de savoir si, dans le son qui provient d'une succession d'ébranlemens, chacun de ces derniers ne doit pas avoir une force telle qu'on l'entendît comme son s'il

était seul, et si une succession d'ébranlemens faibles, dont chacun, s'il était isolé, ne ferait aucune impression sur l'oreille, est entendue. Le problème n'a point été examiné jusqu'à présent, et les moyens de le résoudre paraissent manquer.

D'une succession rapide de plusieurs ébranlemens séparés par des intervalles inégaux naît un bruit ou un fracas, de même qu'une succession rapide de plusieurs ébranlemens entre lesquels se trouvent des intervalles égaux, donne un son déterminé, dont l'élévation croît avec le nombre des ébranlemens dans un temps donné. On peut rendre ce phénomène sensible avec la sirène de Cagniard-Latour et avec la roue de Savart. Un son déterminé se produit aussi quand chacun des ébranlemens qui se succèdent avec régularité est composé lui-même de plusieurs ébranlemens, qui produiraient déjà un bruit par eux-mêmes, ou d'une succession régulière et suffisamment rapide de bruits. Or, c'est précisément ce qui arrive dans les sons produits par les appareils qui viennent d'être indiqués. Car ici chaque ébranlement, pris en particulier, est déjà un bruit complexe, que l'on distingue avec facilité, alors même que la réduction des bruits en une seule somme fait naître l'impression d'un son d'une valeur déterminée.

Ici on se demande combien au moins il faut d'ébranlemens successifs pour donner la sensation d'un son déterminé et comparable. D'après les recherches de Savart, deux ébranlemens, ou l'équivalent de quatre vibrations, suffisent pour cela. En effet, si les ébranlemens sont causés par le choc des dents d'une roue contre un corps, on peut supprimer successivement toutes les dents de la roue jusqu'à n'en laisser que deux, sans qu'il cesse de se produire un son ayant sa place déterminée dans la gamme. Lorsqu'une roue armée de deux mille dents, qui fait une révolution sur elle-même dans l'espace d'une seconde, se trouve réduite à la moitié de ce nombre de dents, par la soustraction qu'on opère de ces dents sur une moitié de la roue, on conçoit que l'intervalle des ébranlemens ne change

pas pour cela; or on peut continuer d'enlever des dents jusqu'à ce qu'il n'en reste plus que deux, et si la roue continue de se mouvoir avec la même rapidité, c'est-à dire d'accomplir une révolution sur elle-même dans l'espace d'une seconde, le son résultant des deux ébranlemens peut encore être comparé avec celui d'un instrument, de manière à reconnaître tous deux sont à l'unisson.

Si, au contraire, on réduit les dents d'une roue à une seule, on n'entend plus le son déterminé, mais seulement le bruit que cette dent produit, en supposant la rotation de la roue assez rapide pour que l'intervalle d'un des chocs donnés par la dent unique au choc le plus prochain, ne soit pas plus considérable que ne l'exige l'intervalle des ébranlemens du son déterminé.

Lorsque les sons sont excités par des vibrations dont l'une commence régulièrement lorsque la précédente a cessé, on pourrait être dans le doute de savoir si l'acuité du son ne dépend pas de la longueur de l'onde, ou d'une autre qualité de cette dernière. Mais les expériences faites avec la roue de Savart prouvent que l'élévation ou l'acuité du son ne dépend en aucune façon de la constitution des ondes. Dans les sons produits par la roue, les ébranlemens qu'impriment à l'air les chocs du corps soulevé par les dents de celle-ci, sont parfaitement égaux, que la roue tourne sur elle-même avec rapidité ou avec lenteur; seulement l'intervalle des ébranlemens est inégal.

Le problème du maximum et du minimum des intervalles des ébranlemens qui sont comparables comme sons, a été résolu aussi par Savart d'une manière plus satisfaisante et plus exacte qu'il ne l'était avant ce physicien. L'intensité étant convenable, on entend encore des sons qui correspondent à quarante-huit mille vibrations par seconde, ou à vingt-quatre mille ébranlemens, et tout porte à croire que ce n'est même pas là l'extrême limite des sons les plus aigus perceptibles à

l'ouïe. Trente-deux vibrations simples par seconde ne sont point non plus la limite extrême des sons les plus graves, comme on l'avait admis, car Savart est parvenu à faire entendre des sons qui ne comportaient que quatorze à dix-huit vibrations simples, ou sept à huit ébranlemens par seconde : il est même probable que des sons plus graves encore seraient accessibles à l'oreille, si les ébranlemens avaient une durée suffisante. La durée qu'un ébranlement doit avoir pour être entendu, est effectivement d'autant plus courte que le son a plus d'acuité, parce l'intervalle entre les deux ébranlemens, dans les sons aigus, diminue en proportion correspondante. Il faut donc que, pour les sons plus graves perceptibles à l'ouïe, la durée des ébranlemens soit d'autant plus longue qu'ils ont plus de gravité. Pour donner une durée plus longue aux ébranlemens dans les sons les plus graves, Savart employait une roue à deux ou quatre rayons libres, qui, en passant entre deux lattes, sans y toucher, produisent, pendant la rotation de la roue, par la condensation et la raréfaction qu'ils déterminent dans l'air, de forts ébranlemens, susceptibles d'être entendus chacun en particulier, mais qui, en s'additionnant, font naître l'impression d'un son lorsque la roue tourne avec une rapidité suffisante. Du reste, les appareils de Savart permettent de se livrer à des calculs rigoureux, puisqu'ils sont accompagnés d'un compteur dont on peut arrêter à volonté les révolutions.

Savart a pu se convaincre aussi, en retranchant une ou plusieurs dents à une roue tournante, que la durée de l'impression sur les nerfs auditifs l'emporte sur celle des ébranlemens, ce qui a lieu également pour la lumière : car l'enlèvement d'une dent ne produit pas d'interruption dans le son. Quant à la durée de cette prolongation d'impression, il est difficile de la déterminer, l'impression ne s'effaçant que d'une manière insensible.

III. Audition de plusieurs sons simultanés.

Le plus simple de tous les cas de cette espèce est l'audition de deux sons simultanés, qui sont à l'unisson. En pareille circonstance, les intervalles sont égaux; les maxima des ébranlemens tombent les uns sur les autres, ce qui a lieu rarement, ou n'y tombent pas. Dans le premier cas, il s'opère des condensations plus fortes, comme la figure 76 le rend sensible à la vue; dans le second, les maxima des deux ou plusieurs sons à l'unisson marchent en formant une série, à la suite les uns des autres, comme dans la seconde figure, de manière que les membres des séries se correspondent, et que les intervalles restent les mêmes. Cette disposition ne peut en rien porter le trouble dans l'audition. Ici se range aussi la résonnance; car les ondes résonnantes et primaires, étant égales entre elles, se comportent exactement comme les ondes de plusieurs sons à l'unisson qui serait primairement donnés. La figure ci-contre peut donc aussi servir d'image pour la simultanéité d'ondes primaires et résonnantes. Dans la production du timbre les ondes du son se croisent avec des ondes accessoires.

Fig. 76.

L'audition de deux sons simultanés qui n'ont pas le même nombre de vibrations doit être plus difficile que celle d'un son unique; car la comparaison des intervalles présente des difficultés en raison de ce que les maxima des vibrations de l'un tombent dans les vibrations de l'autre. En effet, si les deux sons *a* et *b* sont entendus avec les intervalles indiqués dans la fig. 77, des deux séries d'inter-

Fig. 77.

a

b

c

valles marqués les uns au dessous des autres résulte la série composée *c*. Si les sons doivent naissance à deux roues dont les dents se ressemblent pour la forme, les ébranlemens particuliers eux-mêmes sont égaux, et le mode d'ébranlement ne peut point être la cause pour laquelle on entend l'un des sons percer pour ainsi dire à travers l'autre. Cependant l'oreille distingue très-bien les deux sons simultanés, comme je m'en suis convaincu par l'expérience. Cette distinction doit donc alors aussi dépendre de la perception des intervalles de l'un et de l'autre son dans la série entière des ébranlemens. Donc, pendant que la série composée entière des ébranlemens s'écoule, l'oreille a la faculté de distinguer, entre les ébranlemens *b*, les maxima des ébranlemens *a* séparés par des intervalles égaux, et *vice versâ*, parce qu'ils reviennent toujours. Les intervalles, plus petits encore, qui doivent provenir du croisement des deux séries, échappent à l'audition, parce qu'ils ne reviennent point d'une manière régulière, et qu'il y a beaucoup d'inégalité entre eux, en raison de leur situation. Cette distinction a de l'analogie avec celle que notre œil parvient à établir dans le cas d'images composées. Dans la figure 78 les triangles principaux, l'hexagone du milieu et les petits triangles de la périphérie arrivent tous ensemble à l'intuition; mais il dépend de l'esprit que telle ou telle impression soit instantanément la plus vive. La même chose arrive dans l'hypothèse de deux ou d'un grand nombre de sons; l'esprit perçoit alors tels ou tels intervalles donnés avec plus d'intensité ou plus clairement que les autres. C'est là ce qui nous rend capables de distinguer les sons d'un instrument au milieu de tout un orchestre, faculté à laquelle contribue naturellement d'une manière puissante la différence qui existe entre les divers instrumens sous le rapport du timbre, et qui fait que les ébranlemens de leurs sons se font remarquer par des vibrations accessoires.

Fig. 78.

Fig. 79. Il est un cas qui présente un intérêt particulier; c'est celui dans lequel deux sons se trouvent presque à l'unisson, sans toutefois y être complétement, de manière, par exemple, que l'un fait cent et l'autre cent et un ébranlemens par seconde. Alors les ébranlemens de l'un prennent peu à peu le devant sur ceux de l'autre, jusqu'à ce qu'enfin ils coïncident de nouveau ensemble à chaque seconde. Les maxima des ébranlemens sont placés à la plus grande distance possible l'un de l'autre pendant la moitié d'une seconde; il arrive même que la raréfaction de l'un et la condensation de l'autre se couvrent ou s'effacent réciproquement, comme la figure 79 le représente pour deux ondes; mais toutes les secondes, les maxima des deux sons se couvrent ou se fortifient. Depuis le commencement jusqu'au milieu de la figure, l'intensité du son diminue, parce que la portion de la condensation de l'un qui couvre la raréfaction de l'autre devient peu à peu de plus en plus considérable, jusqu'à ce qu'enfin un point arrive où elles se neutralisent réciproquement; après quoi le son s'accroît à mesure que la raréfaction de l'un s'éloigne de la condensation de l'autre, jusqu'à ce que, à l'autre extrémité, il n'y ait plus de nouveau que les condensations qui se couvrent. Il devrait donc, à proprement parler, y avoir un moment de silence complet au milieu. Comme nulle interruption n'a lieu, que seulement le son a moins de force en ce moment qu'en tout autre, l'expérience peut aussi servir de preuve pour démontrer que la durée de l'impression exercée sur les nerfs auditifs l'emporte sur celle de la cause. Mais si deux sons simultanés sont presque à l'unisson, sans y être parfaitement, outre la valeur déterminée du son, on perçoit une augmentation et une diminution flottantes de son inten-

sité. C'est ce qu'on appelle le battement, phénomène qu'il est facile de remarquer quand on pince deux cordes du sonomètre qui ne sont point parfaitement à l'unisson.

Deux sons simultanés, entre les vibrations desquels règne un rapport simple, comme celui de 2 à 3, de 3 à 4, de 4 à 5, et dans lesquels la coïncidence de deux ébranlemens se reproduit avec une rapidité suffisante, produisent, par l'effet de cette coïncidence, un troisième son subjectif, qui cependant a aussi ses causes hors du sujet. Supposons que le son *a* fasse deux vibrations pendant que le son *b* en fait trois, si les ébranlemens de l'un et de l'autre ont commencé ensemble, leur coïncidence se répète chaque fois après deux intervalles du premier et trois du second, ce qui fait que l'oreille entend aussi à part les ébranlemens plus forts *c*, avec des intervalles plus grands, et constituant un troisième son, ou le son de Tartini. La figure rend le phénomène appréciable à l'œil; seulement il faut remarquer que les points indiquent non pas les ébranlemens, mais seulement leurs *maxima*, et qu'on doit se figurer les *maxima* de la raréfaction dans le milieu de l'intervalle qui sépare les points. On peut produire ces sons, tant avec des instrumens à cordes qu'avec des instrumens à vent, pourvu que les sons soient suffisamment forts et soutenus. La corde $ré_3$ d'un violon étant montée en mi_3, et attaquée d'une manière soutenue par l'archet en même temps que la corde la_3, on produit le son la_1. De même, on obtient obtient ut_2 avec ut_4 et mi_4, ou sol_2 avec si_4 et $ré_4$. Dans certaines circonstances, il se manifeste encore un son de Tartini, ce que la théorie faisait déjà prévoir, et ce qui a été observé par Blein.

a

b

c

Dans l'exemple précédent, il a été supposé que les deux sons commençaient exactement ensemble, ou faisaient leur

premier ébranlement au même moment. S'il n'en est pas ainsi, une coïncidence parfaite des ébranlemens ne pourra avoir lieu, et il y aura seulement un maximum d'approximation à des momens déterminés, c'est-à-dire que l'un des sons parviendra au maximum de son ébranlement quand l'autre n'aura pas encore atteint le sien, ce qu'exprime la figure suivante.

Les séries *a* et *b* ont les mêmes intervalles que dans l'exem-

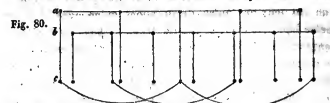


Fig. 80.

ple qui précède; *a* fait deux vibrations tandis que *b* en accomplit trois. Des deux séries provient la série composée *c*. Mais cette approximation des *maxima*, dès qu'elle se répète, suffit pour être perçue, et pour produire le son de Tartini, qui seulement ne saurait être aussi fort que dans le cas précédent. Plus l'approximation des *maxima* est grande, plus le son de Tartini a d'intensité.

On conçoit en même temps, d'après cela, pourquoi il y a tant d'inconstance dans l'observation de se son, et pourquoi l'on ne peut jamais compter sur lui en musique.

Le son de Tartini, qui est toujours plus grave que les sons primaires, doit être soigneusement distingué, comme son subjectif, des sons accessoires plus aigus des cordes, des cloches, etc., qui se font entendre indépendamment du son fondamental, et qui appartiennent aux sons de flageolet. Ceux-là ont une cause objective dans les instrumens eux-mêmes qui produisent le son.

IV. Harmonie des sons. Intervalles musicaux.

Les rapports des sons dont on fait usage en musique se fondent, en partie sur le plus ou moins de développement de

la faculté que l'ouïe possède de distinguer l'impression totale d'un certain nombre de vibrations, en partie sur le plaisir que causent au sens les rapports simples des sons les uns avec les autres sous le point de vue du nombre de leurs vibrations.

Le rapport que l'oreille saisit avec le plus de facilité est celui de 1 : 2 : 4 : 8, etc., c'est-à-dire le rapport du son fondamental à l'octave et aux octaves subséquentes. Des sons, dont l'un fait deux fois autant de vibrations qu'un autre dans un même laps de temps, se ressemblent à tel point qu'ils n'agissent sur nous que comme des répétitions l'un de l'autre. Aussi le rapport de deux sons n'éprouve-t-il pas d'altération essentielle lorsqu'on rend l'un d'eux plus aigu ou plus grave d'une ou de plusieurs octaves. Un autre rapport, également facile à apprécier, et agréable parce qu'il est simple, est celui de 2 : 3, ou du son fondamental à la quinte, et celui de 4 : 5, ou du son fondamental à la tierce. Si l'on désigne le son fondamental par 4, la tierce est par conséquent 5, la quinte 6, et l'octave 8. Prend-on 1 pour son fondamental, on a

ut_2	mi_2	sol_2	ut_3
1	5/4	3/2	2
son fondamental	tierce	quinte	octave

quatre sons qui, pris ensemble, forment l'accord le plus simple et le plus efficace ; les trois premiers seuls en font déjà un fort agréable.

Mais la musique n'en est point restée là. Il y a encore d'autres rapports de sons qui sont susceptibles d'être saisis facilement et de flatter l'oreille. Le son dont l'octave ut_3 est la quinte, ou dont 3 : 2 exprime le rapport, est 4/3 ou fa_2, et il y a en conséquence un rapport tout aussi simple entre lui et le son fondamental ut_2 qu'entre lui et l'octave ut_3 ; la tierce de sol_2 est 15/8 ou si_2.

ut_2	mi_2	fa_2	sol_2	si_2	ut_3
1	5/4	4/3	3/4	15/8	2.

Entre ut_2 et mi_2, se trouve encore un son qui se comporte

comme quinte à l'égard du *sol* de l'octave plus grave, et qui est par conséquent $ré_2$, avec 9/8.

Enfin *ut* est à *ré*, ou 1 : 9/8, comme un son (*la*) intermédiaire entre *sol* et *si* est à *si*; ce *la* est 5/3.

Tels sont les sons de la gamme

ut_2	$ré_2$	mi_2	fa_2	sol_2	la_2	si_2	ut_2
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

Dans cette série

ut est à *ré* comme 1 : 9/8
ré est à *mi* comme 1 : 10/9
mi est à *fa* comme 1 : 16/15
fa est à *sol* comme 1 : 9/8
sol est à *la* comme 1 : 9/10
la est à *si* comme 1 : 9/8
si est à *ut* comme 1 : 16/15

Les rapports 1 : 9/8 et 1 : 10/9 sont appelés tons entiers, et celui de 1 : 16/15 prend le nom de semi-ton. Entre les sons qui sont séparés par des tons entiers, on distingue encore des semi-tons.

Il n'y a pas égalité entre élever un son d'un semi-ton ou du rapport de 1 : 16/15, et abaisser le son suivant de la même quantité, et par conséquent *ut* dièse diffère de *ré* bémol. L'intervalle de 1 : 5/4, ou d'*ut* à *mi*, s'appelle tierce majeure, et l'intervalle de 1 : 6/5, ou d'*ut* à *mi* bémol, prend le nom de tierce mineure.

Dans un accord consonnant de plusieurs sons, ceux-ci doivent être dans un rapport simple tant avec le son fondamental qu'entre eux. C'est à cette seule condition que leur réunion produit un effet agréable. *Ut* : *mi* : *sol*, ou 1 : 4/5 : 3/2, forment une triade harmonique; car *mi* est à *ut* dans un rapport simple, celui de 5 : 4, et *sol* est à *ut* dans un rapport également simple, celui de 3 : 2; mais *mi* et *sol* sont aussi consonnans, puisque le rapport entre eux est de 1 : 6/5. Au contraire, *ut* : *mi* bémol : *mi*, ou 1 : 6/5 : 5/4, ne forment point

un accord harmonique; car *ut* est bien à *mi* bémol comme 1 : 6/5, et *ut* à *mi* comme 1 : 5/4 ; mais *mi* et *mi* bémol ne sont point consonnans, attendu que 6/5 : 5/4 = 1 : 25/24. L'harmonie a donc pour cause la simplicité des rapports numériques.

L'accord du son fondamental avec la tierce majeure et la quinte, *ut* : *mi* : *sol*, ou 1 : 5/4 : 3/2, s'appelle l'accord majeur; celui du son fondamental avec la tierce mineure et la quinte, *ut* : *mi* bémol : *sol*, ou 1 : 6/5 : 3/4, se nomme accord mineur. Tous deux sont composés d'une tierce majeure et d'une tierce mineure, 5/4 et 6/5 ; tous deux ensemble forment une quinte. Dans l'accord majeur, la tierce majeure précède la tierce mineure ; dans l'accord mineur, c'est la tierce mineure qui précède la majeure. Ces deux accords produisent un effet différent sur l'oreille. La consonnance est plus satisfaisante dans l'accord majeur que dans l'accord mineur.

Les dissonances produisent aussi un effet agréable sur l'oreille lorsqu'elles font le passage à des consonnances, ce qu'on appelle les résoudre ou les sauver. Un accord dissonnant, outre des intervalles consonnans, en contient aussi un dissonnant. L'octave est consonnante avec la tonique, la tierce et la quinte; mais la septième fait dissonnance. L'accord de septième peut servir comme exemple d'un accord dissonnant : outre la tonique, la tierce et la quinte, il renferme encore la septième. On parvient à résoudre la dissonnance par un accord qui, au lieu du son dissonnant, renferme les consonnans, ou qui est consonnant avec le son dissonnant. Le rapport est le même que quand nous voyons plusieurs couleurs à la fois; le défaut d'harmonie entre le bleu et le rouge s'efface par l'interposition d'une autre couleur qui est harmonique avec ces deux-là et indifférente pour les autres. Du vert, entre du rouge et du bleu, fait disparaître le défaut d'harmonie, parce qu'il est harmonique avec le vert et indifférent par rapport au bleu. Le même effet résulte de l'orangé, qui est harmonique avec le

bleu et indifférent eu égard au rouge. Descartes a très-bien peint l'effet des dissonances et des consonnances sur l'oreille. *Inter objecta sensus illud non animo gratissimum est, quod facile sensu percipitur, neque etiam difficillime, sed quod non tam facile, ut naturale desiderium, quo sensus feruntur in objecta, plane non impleat, neque etiam tam difficulter, ut sensus fatiget.* L'harmonie de l'octave est trop simple pour satisfaire, et la dissonnance elle-même devient satisfaisante lorsque ce qu'il y a de difficile à saisir en elle se résout en un rapport plus facile.

Il y a impossibilité, quand la série des sons est considérable, d'employer les intervalles avec une pureté arithmétique, telle que l'ouïe en elle-même l'exige. L'exemple suivant, cité par Chladni, en fournit la preuve. Quand on emploie seulement à la suite l'un de l'autre les intervalles *sol*, *ut*, *fa*, *ré*, *sol*, *ut*, le second *ut* n'a déjà plus la valeur du premier, et il en est de même du *sol*. La pureté des intervalles exigerait :

sol : *ut* = 3 : 2
ut : *fa* = 3 : 4
fa : *ré* = 6 : 5
ré : *sol* = 3 : 4
sol : *ut* = 3 : 2

ou *sol* : *ut* : *fa* : *ré* : *sol* : *ut* = 243 : 162 : 214 : 180 : 240 : 160. La première fois *sol* a la valeur de 243, et la seconde fois celle de 240 ; la première valeur d'*ut* est de 162, et la seconde de 160. En répétant davantage, on s'éloignerait toujours de plus en plus de la valeur primordiale des sons. Ce qu'on nomme le *tempérament* pare à cet inconvénient, en altérant la pureté des sons d'une manière légère, mais insensible à l'oreille. Il est dit *égal* ou *inégal* suivant que l'altération se trouve répartie d'une manière uniforme ou non. Le tempérament égal est généralement admis dans la musique, comme étant le plus facile à mettre en pratique. Tenter de maintenir la pureté des sons entre les octaves, ne pourrait qu'entraîner

de plus grands inconvéniens pour les autres sons. Les inconvéniens du tempérament égal ne sont point sensibles à l'oreille, pas plus que ne le sont en général les légers défauts dans l'accord d'un instrument. Si l'oreille pouvait remarquer de si petites différences, la pratique des intervalles purs serait impossible sur des instrumens, puisqu'on éprouve déjà de si grandes difficultés à se procurer un instrument dont l'accord soit parfaitement pur.

V. Audition.

Distinguer la direction du son n'est pas un acte de la sensation elle-même, mais un jugement, porté d'après l'expérience acquise. En raison de la modification que l'ouïe éprouve suivant cette direction, la perception place le corps qui produit le son dans tel ou tel sens déterminé. Le seul guide certain à cet égard est l'impression plus vive que le son exerce sur l'une des deux oreilles. Cependant la réflexion des ondes sonores, la résonnance, la transmission non affaiblie du son par l'air des tuyaux de communication recourbés, établissent la possibilité de nombreuses erreurs. La transmission condensée du son dans des tubes contenant de l'air, ou sa propagation, par des conducteurs solides, à un foyer de résonnance éloigné, peut faire naître une illusion telle que son point de départ semble être le bout du tuyau dans le premier cas, ou le foyer de résonnance dans le second.

La direction du son peut également être appréciée, au moyen de l'ouïe, en donnant des positions variées à la tête et à l'oreille, qui font que les ondes sonores tombent sur cette dernière, tantôt perpendiculairement et tantôt obliquement.

Si ces deux moyens échouent, que les deux oreilles aient une même situation eu égard au lieu du son, comme, par exemple, quand ce dernier est excité devant nous ou derrière, il est hors de notre pouvoir de distinguer si les ondes sonores viennent de l'avant ou de l'arrière, ainsi qu'il résulte

des expériences de Venturini, et que les lois de la physique suffisent déjà pour l'établir. Les ondes ne déterminent pas seulement l'ébranlement condensant dans une direction, elles produisent aussi l'ébranlement dilatant dans la direction opposée, et quand il s'en succède plusieurs les unes à la suite des autres, ces deux sortes d'ébranlemens alternent régulièrement ensemble. Quand bien même on pourrait distinguer la direction de l'ébranlement sur le nerf, on n'aurait pas moins, dans le dernier cas, tout autant de fondement à placer le son dans une direction que dans la direction opposée.

Les ventriloques profitent de l'incertitude que présente la distinction de la direction du son, et du pouvoir de l'imagination sur le jugement; ils parlent dans une certaine direction, et font comme s'ils entendaient le son venir de là.

Nous ne sentons pas la distance du son, mais nous jugeons d'elle d'après l'intensité de celui-ci. Le son lui-même occupe toujours la même place dans notre oreille; mais nous plaçons hors de nous le corps qui le produit. Il suffit d'assourdir la voix et de le rendre telle que nous l'entendons dans le lointain, pour faire croire à son éloignement, ce qui se pratique dans la ventriloquie.

Mais l'imagination influe aussi sur l'acte même de la sensation, et celle-ci devient plus vive par le fait de l'attention. Elle parvient alors à distinguer un bruit déterminé parmi plusieurs autres ou parmi des sons nombreux, et à suivre le jeu d'un seul des instrumens dans un orchestre. Si deux personnes nous disent des choses différentes, chacune dans une oreille, les deux impressions se mêlent ensemble; ce n'est qu'à l'aide d'un effort soutenu d'attention, et par la différence du timbre des deux sons, qu'il nous est donné de suivre l'une des deux séries, et de rendre notre ouïe plus ou moins inaccessible à l'autre série, qui agit sur nous comme un bruit distrayant. Accroître volontairement l'attention qu'on consacre à des sons, s'appelle écouter. Lorsque l'intention de l'âme tombe

sur ce qui est apporté au *sensorium commune* par les nerfs auditifs, nous n'entendons même point le son existant. Mais souvent aussi nous n'entendons faiblement une chose que parce qu'une autre occupation, qui absorbe notre attention, nous empêche de l'écouter, et qu'ensuite nous nous souvenons du son ; un phénomène analogue a lieu dans d'autres sens. Les actes contraires de l'imagination se troublent en quelque sorte les uns les autres, comme il arrive à des ondes douées de qualités opposées, qui, après s'être traversées réciproquement, continuent à marcher chacune de son côté.

VI. Prolongation de la sensation auditive.

Déjà les expériences de Savart, qui ont été rapportées précédemment, établissent que l'impression des ondes sonores sur les nerfs auditifs dure un peu plus long-temps que le passage du son à travers l'oreille. Mais une longue durée ou une répétition fréquente de même son fait persister bien davantage la sensation consécutive dans le nerf, et la maintient même au-delà de dix à onze heures, comme le savent fort bien ceux qui ont passé plusieurs jours de suite dans une pesante chaise de poste ; arrivés à leur destination, ils continuent pendant long-temps d'entendre du bruit dans leurs oreilles.

On peut juger d'après cela que la sensation du son, comme tel, ne dépend point, en dernière instance, de l'existence des ondes sonores, et que le son, comme sensation, tient à un état du nerf auditif, qui peut bien être excité par des ébranlemens, mais qui est possible aussi d'une autre manière. On a cru expliquer les sensations consécutives, dans le sens de la vue, en admettant que la lumière, supposée matière, est retenue pendant quelque temps par la rétine, comme dans le cas où elle vient à être absorbée. Pour ce qui concerne le sens de l'ouïe, la fausseté de cette hypothèse saute de suite aux yeux. Il n'y a point ici de matière excitante qui puisse être retenue, et pour que les ondes déterminées par l'ébranlement persistas-

sent, il faudrait que le principe nerveux lui-même éprouvât, dans le nerf auditif, des fluctuations qui se succédassent jusqu'à ce que l'équilibre fût rétabli.

VII. Audition double.

A la double vue du même objet par les deux yeux correspond la double audition par les deux oreilles ; à la double vue avec un œil, à cause de l'inégalité dans la réfraction, la double audition avec une oreille, à cause de celle dans la transmission.

Le premier mode d'audition double est fort rare. Sauvages et Itard en citent des exemples. Dans l'un des deux cas de Sauvages, outre le son fondamental, l'individu entendait encore son octave, ce qui serait difficile à expliquer, si le fait était exact. Chez le sujet dont parle Itard, des sons d'une acuité différente étaient entendus par les deux oreilles. Il est probable que les faits de cette nature deviendraient moins rares si l'on observait avec plus d'attention. J'ai moi-même été une fois tourmenté par une sorte de retentissement sur un ton plus élevé, qui me frappait lorsque j'entendais des sons d'une force modérée, tels que ceux de la voix humaine ; mais ce phénomène fut très-passager, et il ne s'est point reproduit ; je ne sais pas non plus si le retentissement provenait d'une inégalité d'action des deux oreilles.

Le second mode d'audition double dépend non de l'inégalité d'action des deux oreilles, mais du défaut d'uniformité dans la manière dont deux milieux différens transmettent un même son à l'organe auditif. On peut le produire en écoutant avec une oreille, dans l'air, le son d'une petite cloche qui tinte dans l'eau, pendant que, de l'autre oreille bouchée, on écoute les vibrations que le liquide lui transmet à l'aide d'un conducteur. Les deux sons diffèrent l'un de l'autre en égard à l'intensité et au timbre. Il en est de même lorsqu'au moyen d'un sifflet fermé par une membrane et plongé dans l'eau, on

produit un son qui arrive à une oreille par l'air, et à l'autre oreille bouchée par le conducteur plongé dans l'eau.

VIII. Finesse de l'ouïe.

Il faut distinguer pour la vue plusieurs genre de perfection, qui portent sur la faculté de voir à des distances diverses, ainsi que sur celles de reconnaître le champ des particules de la rétine, de distinguer la clarté et l'obscurité, d'apprécier les nuances des couleurs. Le sens de l'ouïe ne se prête à aucun parallèle avec la première de ces quatre facultés, non plus qu'avec la seconde. Mais, de même que tel homme ne voit bien qu'au grand jour, et tel autre qu'à une lumière modérée, de même l'ouïe n'a pas la même aptitude chez tous à distinguer les sons graves et aigus. Et comme un sujet doué d'une bonne vue peut cependant mal apprécier les couleurs, et manquer totalement de sens pour juger de leur harmonie et de leur défaut d'harmonie, ainsi un homme qui entend bien, qui saisit même le moindre bruit, peut être incapable d'établir des distinctions musicales entre les sons, de sentir l'harmonie et la dissonnance, tandis qu'il est possible qu'un autre, avec l'ouïe faible, possède cette faculté à un haut degré. Certains individus entendent très-bien d'une manière générale, mais les limites de l'audition pour les sons aigus sont fort peu étendues chez eux. Wollaston en a observé des exemples. Les personnes qui ont l'ouïe dure entendent quelquefois encore les sons fort aigus avec facilité. Il paraît, d'après ce qui a été dit précédemment, que ce phénomène peut dépendre, entre autres, d'une trop grande tension de la membrane du tympan par une cause quelconque. Certains sourds entendent mieux les sons faibles quand on fait beaucoup de bruit autour d'eux. Willis a décrit deux cas de ce genre, relatifs, l'un à une personne qui ne pouvait suivre un entretien qu'autant qu'on battait de la caisse auprès d'elle, et l'autre à un individu qui n'entendait que pendant le jeu des cloches. D'autres exemples ont été vus par Holder, Bach-

mann et Fielitz. Cet effet peut tenir à la torpeur du nerf auditif, qui a besoin d'excitement pour déployer toute l'énergie de son action. Le pouvoir qu'ont certains sourds d'entendre tels ou tels sons aussi bien que d'autres personnes, au milieu d'un grand bruit, peut aussi dépendre de ce que le bruit les trouble beaucoup moins (1). Tel devait être, par exemple, le cas de celui qui, dans une voiture fermée, prenait part sans difficulté à l'entretien de ses compagnons de voyage ; les autres, disait-il, n'entendent pas mieux que moi la voix des personnes qui parlent dans la voiture, parce qu'ils entendent davantage le bruit du roulement. La finesse excessive de l'ouïe provient d'une trop grande irritabilité du nerf auditif, et correspond à la photophobie. On ignore quelles sont les causes qui font que tel ou tel n'a point l'oreille musicale ; mais quiconque manque de cette aptitude, sera toujours un mauvais chanteur, eût-il d'ailleurs une belle voix.

IX. Sons subjectifs.

Les sons purement subjectifs sont ceux qui tiennent, non à des ondes impulsives, mais à un état d'excitation dans le nerf auditif, car quelqu'excitation qu'éprouve ce nerf, il la ressent comme son, il l'entend. Tels sont les tintemens et bourdonnemens d'oreilles chez les personnes qui ont les nerfs délicats, ou le cerveau malade, et chez celles dont le nerf auditif lui-même est le siége d'une lésion ; tel est encore le bruissement qu'on discerne dans ses oreilles après avoir longtemps couru dans une voiture dure. Quelques-unes des expériences de Ritter sur l'électricité ont été accompagnées de manifestation d'un son dans l'oreille : ici l'affection du nerf auditif est déterminée par le seul courant du fluide électrique, qui donne lieu à une sensation de lumière dans l'œil, à une sensation tactile dans les nerfs du toucher, à la sensation

(1) De Gerando, *De l'éducation des sourds-muets*, Paris, 1827, 2 vol. in-8.

d'une odeur phosphoreuse dans les nerfs olfactifs, à celle d'une saveur aigrelette ou âcre dans les nerfs gustatifs. On peut consulter à cet égard ce que j'ai dit dans l'introduction à la physiologie des sens.

Il faut distinguer des sons purement subjectifs ceux dont la cause ne réside pas uniquement dans le nerf auditif, mais tient à un son qui s'est produit dans les organes eux-mêmes de l'audition. Ici se range le bruissement qui s'observe dans les cas de congestion vers la tête et l'oreille, ou dans ceux de dilatation anévrismatique des vaisseaux. Souvent même on entend déjà, sous la forme d'un sifflement saccadé, le simple bruit de la circulation du sang dans l'oreille. Ici prennent place encore et le craquement qui accompagne la contraction des muscles des osselets de l'ouïe, et le bruit qu'on entend lorsque les muscles du voile du palais se contractent, qu'on baille, que l'on condense l'air de la caisse tympanique de manière à tendre la membrane du tympan, qu'on se mouche, qu'on abaisse violemment la mâchoire inférieure, etc.

Le bourdonnement d'oreilles qui accompagne l'oblitération de la trompe d'Eustache ne peut point encore être expliqué d'une manière suffisante.

Le docteur Henle présente cette particularité individuelle qu'en passant légèrement le doigt sur sa joue, il excite un bruissement dans l'oreille. Ceci peut dépendre d'une action réfléchie du nerf facial sur le cerveau et par suite sur le nerf acoustique, ou aussi d'un mouvement de réflexion des muscles des osselets de l'ouïe.

X. Sympathies du nerf auditif.

Les excitations du nerf auditif peuvent déterminer et des mouvemens et même des sensations dans d'autres sens. L'un et l'autre effet a lieu vraisemblablement d'après les lois de la réflexion, par l'intermédiaire du cerveau. Un bruit violent produit, chez tous les hommes, le cillement des paupières,

et chez les personnes qui ont les nerfs délicats, une secousse par tout le corps.

Les sensations qui succèdent à des impressions auditives sont principalement des sensations tactiles. Chez les personnes à système nerveux impressionnable, un son inopiné est quelquefois suivi d'une sensation tactile désagréable, comme d'une commotion électrique dans le corps entier, ou même d'une sensation tactile dans l'oreille externe; certains bruits, comme le frottement du papier, le frôlement du verre et autres semblables, causent à beaucoup d'individus une sensation désagréable dans les dents, ou un frisson par tout le corps.

Certains hommes sont sujets à ce que l'eau leur vienne à la bouche quand ils entendent des sons violens.

Tiedemann (1) et Lincke (2) ont réuni plusieurs exemples de sympathies qui se rapportent ici.

L'ouïe peut, en outre, subir des altérations ayant pour point de départ beaucoup de parties du corps. Elle est surtout susceptible de s'altérer dans les maladies du bas-ventre et dans les affections fébriles. Tout porte à croire qu'en pareil cas aussi, les parties centrales du système nerveux servent d'intermédiaire.

(1) *Zeitschrift fuer Physiologie*, t. I, cah. 2.

(2) *Loc. cit.*, pag. 567.

Section troisième.

Du sens de l'odorat.

CHAPITRE PREMIER.

Des conditions physiques de l'olfaction.

Le sens de l'odorat n'agit, dans la règle, qu'à l'occasion d'impressions matérielles et de changemens correspondans subis par le nerf olfactif. Comme celui du goût, il est susceptible d'une infinité de modifications, toutes relatives au mode de l'impression matérielle.

La première condition de l'odorat est le nerf spécifique, dont les changemens matériels sont sentis sous la forme d'odeurs : car nul autre nerf ne transmet cette sensation, même lorsqu'il est sollicité par des causes identiques, et la substance qui a de l'odeur pour le nerf olfactif, a de la saveur pour le nerf gustatif, et elle peut être âcre, brûlante, etc., pour le nerf tactile. Kant disait que l'odorat est un goût à distance ; cette manière de s'exprimer ne me semble pas exacte.

La seconde condition de l'odorat est un état déterminé du nerf olfactif, ou un changement matériel et spécial de ce nerf par le stimulus, c'est-à-dire par ce qui est susceptible de porter une odeur.

Les choses susceptibles de faire naître la sensation des odeurs sont, chez les animaux aériens, des substances répandues dans l'air, en molécules extrêmement ténues, et des émanations gazeuses, souvent si subtiles que nul réactif ne saurait en indiquer la présence, si ce n'est précisément le nerf olfactif. Chez les Poissons, les matières susceptibles d'affecter

l'odorat sont contenues dans l'eau. Le défaut absolu de connaissances physiques sur la manière dont les substances odorantes se répandent, nous laisse incertains de savoir si elles sont dissoutes dans l'eau, comme le serait un gaz absorbé par ce liquide. On conçoit, d'ailleurs, que leur état de dissolution dans l'eau ne saurait être un motif de refuser l'odorat aux Poissons; car l'essentiel de la sensation olfactive ne tient pas à la nature gazeuse de la matière odorante, mais à la sensibilité spécifique du nerf olfactif, à la différence qui existe entre cette sensibilité et celle de tous les autres nerfs sensoriels. Chez les animaux aériens eux-mêmes, les odeurs sont obligées de se dissoudre dans le mucus de la membrane pituitaire avant de pouvoir affecter le nerf olfactif, et il doit s'opérer là un mode d'expansion analogue à celui de la répartition d'une matière odorante dans l'eau. De même, le nerf gustatif n'est pas seulement sensible aux choses sapides liquides ou solides, car il y a des corps gazeux, comme l'acide sulfureux et plusieurs autres, qui donnent lieu à des saveurs, lorsqu'ils se dissolvent dans l'humidité qui recouvre la langue. On peut donc très-bien concevoir qu'un même principe provoque des sensations différentes dans le nerf olfactif et dans le nerf gustatif, l'odeur dans l'une, la saveur dans l'autre. En comparant l'organe olfactif des animaux aériens à un poumon et celui des Poissons à une branchie, Treviranus s'est servi d'une image, bonne en général; mais il ne faut pas s'imaginer que les matières odorantes dissoutes dans l'eau repassent à l'état de gaz, avant d'affecter les nerfs olfactifs, pas plus que les branchies n'ont besoin de ramener les gaz dissous dans l'eau à leur état aériforme pour qu'ils puissent être admis dans le sang. L'état sous lequel ces gaz sont contenus dans le sang est le même exactement que celui sous lequel ils se trouvaient dans l'eau. Enfin, les nerfs olfactifs des Poissons sont identiques avec ceux de tous les autres animaux; ils naissent des mêmes points du cerveau, des mêmes lobes de cet organe,

les lobes olfactifs, dont on aperçoit même encore des vestiges chez les Mammifères.

Une autre condition de l'odorat est que la membrane muqueuse nasale soit humide; car l'humidité est le véhicule à la faveur duquel les substances odorantes arrivent jusqu'au nerf. Quand la membrane pituitaire est sèche, on ne sent rien, et la diminution de la sécrétion muqueuse, pendant la première période du coryza, suffit déjà pour abolir ou affaiblir l'odorat.

Chez les animaux qui vivent dans l'air, un courant des matières odorantes à travers l'organe olfactif est nécessaire aussi pour que l'odorat s'accomplisse. Ce sont les mouvemens respiratoires qui y donnent lieu. En modifiant à volonté ces mouvemens, nous exerçons de l'influence sur l'olfaction, nous l'interrompons par la suspension de la respiration, et nous la rendons plus active par des inspirations répétées.

Chez les animaux qui vivent dans l'eau, ce mouvement n'existe pas, en grande partie, puisque leur nez n'est généralement point perforé, et qu'il n'a pas de communication immédiate avec l'organe respiratoire. Cependant, là même encore, il y a une disposition particulière qui rend le courant possible : car les mouvemens de l'opercule donnent lieu à un courant continuel d'eau, qui traverse la bouche et ressort par l'ouverture placée sous ce couvercle.

CHAPITRE II.

De l'organe olfactif.

Les organes olfactifs des animaux sans vertèbres sont peu connus encore, quoique plusieurs de ces animaux aient le sens de l'odorat très-développé, comme par exemple la Mouche à viande, qui dépose ses œufs dans les substances animales en putréfaction, et qui se laisse induire en erreur par l'odeur fétide du *Stapelia hirsuta*.

Le principe qui préside à la formation et aux modifications

de l'organe de l'odorat, est la multiplicité des surfaces olfactives dans un petit espace. Sous ce rapport, il y a une grande affinité entre l'appareil de la respiration et celui de l'olfaction.

Chez les Poissons, et, parmi les Reptiles nus, chez le Protée, la multiplication des surfaces résulte du plissement de la membrane muqueuse, dont les plis sont ou appliqués les uns contre les autres, à l'instar des lames branchiales, comme chez les Cyclostomes, ou disposés en manière de rayons qui partent d'un centre commun, comme chez l'Esturgeon, ou rangés parallèlement les uns aux autres sur les côtés d'une bandelette médiane. Les lames se divisent souvent en branches, pinceaux, etc.

Chez la plupart des Poissons, les cavités nasales sont des fosses superficielles, qui ne traversent pas le palais. Dans la Baudroie, ce sont des espèces de petites cloches pétiolées, au fond desquelles se trouvent des plis.

Chez les Cyclostomes, ces cavités sont réunies en une seule, c'est-à-dire ne présentent pas de cloison : elles sont pourvues d'un tube qui aboutit à la surface de la tête (*Petromyzon*, *Ammoçetus*), ou à la partie antérieure du museau (Myxinoïdes). Ce tube est très-long chez les Myxinoïdes, et garni d'anneaux cartilagineux, absolument comme la trachée-artère.

Le nez des Cyclostomes est percé, et un conduit traverse le palais osseux. Cependant la Lamproie n'a pas d'ouverture à la membrane palatine ; son canal naso-palatin se termine en cul-de-sac dans la voûte palatine, et il est logé entre le crâne et la membrane du pharynx. Le canal forme également un cul-de-sac chez l'Ammocète. Cet appareil ne sert donc qu'à attirer l'eau dans le nez, et à l'en faire sortir. Chez les Myxinoïdes, au contraire, le palais osseux et le palais mou sont perforés tous deux, et derrière l'ouverture naso-palatine, on découvre seulement une valvule dirigée en arrière, qui paraît servir au mouvement et au renouvellement de l'eau contenue dans le nez.

L'espèce d'évent des Lamproies et la valvule mobile des Myxinoïdes semblent être une conséquence nécessaire du reste de l'organisation de ces animaux. Pour qu'une odeur puisse se faire sentir, il faut que le milieu qui la transporte se meuve vers la surface olfactive. Les animaux aériens ne flairent qu'à la condition d'attirer l'air dans le nez. Chez ceux qui vivent dans l'eau, le renouvellement des couches odorantes d'eau autour de la tête tient à ce que, par l'effet des mouvemens respiratoires, le liquide entre dans la bouche et sort par les fentes des branchies. Ce mode de renouvellement de l'eau dans le nez n'est pas possible chez les Cyclostomes, lorsque leur bouche fait office de suçoir : de là, l'appareil particulier de leur cavité nasale, qui sert à attirer de nouvelle eau dans le nez, et à en chasser l'ancienne.

Le nez des Reptiles est toujours perforé. Chez quelques Protéides, le canal naso-palatin ne traverse même pas les os, et l'état rudimentaire de la mâchoire supérieure, qui n'est qu'engagée dans les chairs, fait qu'il perce la lèvre supérieure. Mais ce n'est point là un caractère général de la famille des Protéides, car l'ouverture naso-palatine de l'Axolotl est limitée par des os, comme à l'ordinaire. Tous les Protéides n'ont pas non plus la membrane pituitaire plissée comme les Poissons : cette disposition ne s'observe que chez le Protée. Dans les Reptiles écailleux et les Oiseaux, on trouve des prolongemens en forme de cornets, qui servent à multiplier les surfaces. Les Mammifères ont les masses latérales de l'ethmoïde, les cornets et les sinus des fosses nasales. L'accroissement que le cornet inférieur procure aux surfaces est très-remarquable chez les Mammifères. Les formes les plus singulières de cet os sont celles qu'on rencontre, d'un côté, chez les Ruminans, les Solipèdes, et en général les herbivores, d'un autre côté, chez les Carnivores. Les cornets inférieurs des herbivores représentent une lame, dont la portion fixée est simple, tandis que la portion libre se di-

vise en deux lamelles, l'une supérieure, l'autre inférieure, qui se roulent sur elles-mêmes, en sens inverse l'une de l'autre, la première vers le haut, et la seconde vers le bas. Chez les carnivores, les cornets inférieurs se partagent en branches et rameaux, qui ressemblent assez bien à l'arbre de vie du cervelet. Ceux de l'homme, comparés à ceux-là, semblent être réduits à l'état rudimentaire. Les organes de Stenson entretiennent, chez beaucoup de Mammifères, une communication entre le nez et la bouche, et remplacent le trou incisif. Il faut distinguer des conduits de Stenson l'organe de Jacobson, tube en partie membraneux et en partie cartilagineux, qui est placé sur le plancher du nez, entre le vomer et la membrane muqueuse, et qui communique avec le conduit de Stenson. Les fonctions de ces parties sont inconnues.

Les cavités accessoires du nez ne paraissent pas servir à l'olfaction. De l'eau camphrée a été injectée par Deschamps dans une fistule communiquant avec les sinus frontaux, et d'autres substances odorantes l'ont été par Richerand dans l'antre d'Highmore, sans que les sujets discernassent la moindre odeur. Il semble indifférent à la nature de remplir les cavités des os avec de l'air ou avec de la graisse; dans les deux cas, les os deviennent plus légers que s'ils étaient solides. Chez les Oiseaux, beaucoup d'os du corps et de la tête s'emplissent d'air, les premiers par les poumons, les autres par les trompes de Fallope. Chez l'homme, l'air ne s'introduit que dans quelques os de la tête, tels que les cellules de l'apophyse mastoïde et les sinus des fosses nasales. On observe le mouvement vibratile sur la membrane muqueuse du nez et de ses cavités accessoires, chez tous les animaux.

Le mécanisme de la transmission, qui présente tant de complications dans les autres sens, est fort simple dans celui de l'odorat. Les substances odorantes, disséminées dans l'air, à l'état de gaz, ou peut-être même de poussière fine, sont ame-

nées aux surfaces de la membrane muqueuse par le mouvement de l'inspiration. L'air qui sort de la bouche peut aussi faire naître la sensation d'odeurs, quand il est chargé de substances développées, soit dans les organes respiratoires, soit dans les organes digestifs, comme dans l'éructation. Il n'y a donc à s'occuper ici que de la manière dont l'odorat peut être exalté ou supprimé.

Nous pouvons supprimer à volonté l'odorat, et nous soustraire à la sensation de vapeurs désagréables, en n'inspirant pas par le nez.

Nous exaltons ce sens, au contraire, en inspirant avec plus de force, ou en faisant de petites inspirations, rapidement répétées. L'animal qui halène cherche dans l'atmosphère la couche chargée d'une substance odorante, et pour cela il exécute, en diverses directions, des mouvemens inspiratoires qui se succèdent avec vitesse. Une fois qu'il a découvert cette couche, il la suit de la même manière. Le courant des odeurs peut aussi être favorisé par le vent qui, à ce qu'on assure, suffit souvent aux herbivores pour sentir des odeurs développées à de grandes distances.

Indépendamment de l'odorat, le nez possède aussi le sens dn toucher, par le moyen des filets nasaux de la seconde et de la troisième branches du nerf trijumeau. En effet, il sent le froid, le chaud, les démangeaisons, le chatouillement, la pression, la douleur. Ces nerfs ne sauraient remplacer le nerf olfactif, comme le démontre l'exemple des personnes qui, privées d'odorat, n'en ont pas moins une sensibilité tactile très-développée dans le nez.

Il y a certaines substances, gazeuses ou vaporeuses, par rapport auxquelles on parvient difficilement à distinguer la sensation tactile de la sensation olfactive ; telles sont l'ammoniaque à l'état de gaz, les émanations du raifort, de la moutarde, etc. Les sensations que l'on éprouve de leur part ressemblent beaucoup à celles du toucher, et l'analogie devient plus frap-

prante encore lorsqu'on réfléchit que ces vapeurs âcres agissent pour ainsi dire de même sur la membrane muqueuse des paupières.

CHAPITRE III.

De l'action des nerfs olfactifs.

Les animaux n'ont pas tous la même aptitude à sentir les odeurs, et il doit dépendre des forces qui animent les parties centrales de l'appareil olfactif, que le monde odorant d'un herbivore diffère totalement de celui d'un carnivore. Les carnassiers ont un nez très-fin pour les qualités spécifiques des substances animales, pour suivre à la piste, mais ils ne paraissent pas sensibles à l'odeur des plantes, des fleurs. L'homme se trouve placé bien au dessous d'eux par rapport à la finesse de l'odorat, mais le monde de ses odeurs est plus homogène.

La fétidité est pour l'odorat ce que la douleur est pour le toucher, l'éblouissement ou le défaut d'harmonie des couleurs pour la vue, et la dissonnance pour l'ouïe; c'est l'opposé de l'odeur suave. Nous ne connaissons pas les causes de cette différence, mais il est certain que la fétidité et la suavité sont purement relatives dans le règne animal, car beaucoup d'animaux recherchent avec empressement ce qui nous offense le nez. Les hommes eux-mêmes présentent beaucoup de variété à cet égard. Il s'en trouve qui ne peuvent supporter certaines odeurs agréables; l'odeur de la corne brûlée déplaît aux uns, et plaît aux autres, sans que ceux-ci aient besoin, pour cela, d'être hystériques. Il y a beaucoup de personnes qui ne trouvent au réséda qu'une odeur herbacée : Blumenbach en cite des exemples, et je suis du nombre. On ignore si certaines odeurs contrastent ensemble, comme il arrive aux couleurs et aux sons, s'il y a aussi des consonnances et des dissonnances à cet égard; mais la chose est très-probable, et d'autant plus qu'elle a certainement lieu pour le sens du goût. Les sensations consécutives du sens de l'odorat ne sont pas connues

non plus, bien qu'il soit difficile de croire qu'elles n'existent pas : on ne saurait citer pour exemple l'odeur cadavéreuse qui souvent persiste fort long-temps dans le nez après les dissections, car tout porte à penser qu'elle est objective et dépend de la dissolution d'une substance odorante dans le mucus.

Les odeurs subjectives, sans substances objectives, sont peu connues encore. Des dissolutions de substances inodores, comme les sels, ne font naître aucune sensation d'odeur quand on les injecte dans le nez. On sait que l'électricité par frottement a une odeur de phosphore. En appliquant le galvanisme à l'organe olfactif, Ritter a observé qu'outre l'envie d'éternuer et le chatouillement, il se développait au pôle négatif une odeur amoniacale et au pôle positif une odeur acide, effets qui persistaient avec le même caractère tant que la chaîne demeurait fermée, mais qui se renversaient dès qu'on l'ouvrait. Il arrive souvent à quelqu'un de sentir une odeur spécifique dont personne autre ne s'aperçoit : ce phénomène est commun chez les individus d'une complexion nerveuse, mais tous les hommes y sont plus ou moins sujets.

Chez un homme qui s'était toujours plaint de sentir des odeurs désagréables, Cullerier et Maingault trouvèrent l'arachnoïde parsemée d'ossifications, et le milieu des hémisphères cérébraux contenant des tumeurs scrofuleuses en suppuration. Dubois connaissait un homme qui, après une chute de cheval, crut, pendant plusieurs années, et jusqu'à sa mort, sentir une odeur fétide autour de lui.

On n'a point encore expérimenté si des substances fortement odorantes, introduites dans le sang, donnent lieu au développement de sensations olfactives par l'effet de la circulation.

Au reste, nul sens n'a des rapports plus intimes que l'odorat et le goût avec les actes instinctifs de l'économie animale. Les odeurs excitent puissamment l'appétit vénérien des animaux, et font entrer en jeu les organes génitaux par la sti-

mulation qu'elles exercent sur le cerveau et la moelle allongée.

Section quatrième.

Du sens du goût.

CHAPITRE PREMIER.

Des conditions physiques de la gustation.

Les conditions du sens du goût sont la présence du nerf spécifique, l'excitation de ce nerf par une chose sapide, et la dissolution de celle-ci dans les liquides de l'organe gustatif. Il serait tout aussi difficile au goût qu'à l'odorat d'être affecté par une irritation purement mécanique ; la sapidité tient à un changement matériel opéré dans le nerf par une matière dissoute, et la sensation varie à l'infini en raison des différences sans nombre que cette matière peut offrir. Cependant la provocation d'une saveur par un changement mécanique des nerfs gustatifs ne doit pas être considérée comme une chose absolument impossible. La compression, les tiraillemens, les piqûres, les frottemens de la langue ne donnent lieu qu'à des sensations tactiles, mais Henle a observé qu'un courant d'air délié détermine une saveur fraîche et salée, analogue à celle du nitre, et la titillation mécanique du pharynx ou du voile palatin provoque la sensation du dégoût, qui a tant d'affinité avec le goût qu'on ne saurait l'en séparer. Parmi les impondérables, il n'y a que l'électricité qui fasse naître la sensations d'une saveur.

Pour être susceptible d'agir sur l'organe du goût, une substance doit être ou dissoute, ou au moins susceptible de se dissoudre dans l'humidité de la langue. Les substances insolubles n'ont d'action que sur la sensibilité tactile de cette der-

nière. On ne sait pas d'une manière certaine s'il suffit du contact de l'organe vivant avec un aliment animal humide pour produire une saveur, sans le concours des matières dissoutes qui sont contenues dans l'aliment. Les gaz aussi sont quelquefois sapides, comme l'acide sulfureux.

L'humidité de la langue n'est pas moins nécessaire à l'action intime des substances sapides, que celle de la membrane pituitaire à l'exercice de l'odorat. Le sens du goût n'a pas d'appareil spécial de transmission autre que les mucosités de la langue. Aussi l'étude de ce sens est-elle fort simple, de même que celle du sens de l'odorat.

CHAPITRE II.

De l'organe du goût.

Le goût a pour siége la gorge et surtout la langue, qui néanmoins a souvent, chez les animaux, plus d'importance comme organe de déglutition que comme appareil sensoriel, de même que les nombreuses diversités de cet organe, dont l'anatomie comparée constate l'existance, intéressent fort peu la physiologie du goût, et peuvent être passées ici sous silence. Lorsque la langue est dépourvue de tissu musculaire, et sèche, comme chez les Poissons et beaucoup d'Oiseaux, il ne faut pas conclure de là que le sens du goût soit absent : car la sensation qui le caractérise est une propriété de l'arrière-gorge entière : elle appartient non à un organe particulier, mais à la membrane muqueuse de cette cavité. Les animaux qui avalent leur proie couverte de plumes ou de poils, tels que les Serpens, dont il faut rapprocher, sous ce rapport, les Oiseaux insectifores et granivores, sont les seuls auxquels le goût manque, en raison même de leur mode de déglutition. J'ai parlé ailleurs d'un organe mobile qui existe au palais des Cyprins, et que quelques physiologistes regardent comme un appareil de gustation.

Chez l'homme, l'attouchement du voile du palais provoque la sensation du dégoût. Cette sensation pourrait, rigoureusement parlant, être attribuée à une réflexion sur les nerfs gustatifs; mais les expériences de Dumas, Autenrieth, Richerand, Horn, Lenhossek, Treviranus et Bischoff, ont mis hors de doute la sensibilité du palais pour les choses sapides, et moi-même j'y distingue très bien la saveur du fromage. Le grand hypoglosse est le nerf moteur de la langue, et le lingual son nerf sensitif: c'est ce qui ressort des expériences de Dupuytren et de Mayo, comme aussi des miennes; car, en irritant le premier de ces nerfs par le galvanisme, ou par des tiraillemens, on détermine des convulsions dans la langue, tandis que la section du second entraîne de vives douleurs. Les expériences sur le nerf lingual exigent, par rapport au mouvement, les mêmes précautions que celles qui sont nécessaires quand on expérimente sur les racines des nerfs rachidiens. Il faut détacher d'abord le nerf de la partie centrale, après quoi on en irrite le bout qui se porte à la périphérie. Si l'on irritait le nerf lingual tandis qu'il tient encore à son extrémité centrale, il serait à craindre que la langue et d'autres parties vinssent à se contracter par réflexion, comme je l'ai observé moi-même il n'y a pas long-temps.

Quant à la controverse qui s'est élevée relativement à la question de savoir lequel du lingual ou du glosso-pharyngien doit être considéré comme nerf gustatif, et aux théories de Panizza, Bischoff, etc., sur ce point de doctrine, je renvoie à ce que j'ai dit précédemment. Wagner adopte la théorie de Panizza, en se fondant sur des motifs tirés de l'anatomie et de la physiologie. Valentin et Bruns l'adoptent également, en conséquence de leurs expériences, tandis que mes expériences, celles de Kornfeld et celles de Gurlt ne sont point favorables à cette hypothèse. Je ne regarde pas celles de Valentin comme décisives, car il en résulterait qu'un animal commence à recouvrer le goût quinze jours après la section du

glosso-pharyngien. Or ce laps de temps est tellement court, qu'il porte à croire que l'opération n'avait point aboli le sens. Les expériences d'Alcock n'ont point eu de résultats positifs. La faculté de percevoir les saveurs amères n'existait plus après la section du glosso-pharyngien, et après celle du lingual, elle n'était perdue qu'à la partie antérieure de la langue : l'auteur attribue le goût tant au glosso-pharyngien qu'au lingual, et même aux branches palatines de la cinquième paire : ses expériences sur ces derniers nerfs n'ont produit rien de définitif. Les observations pathologiques sont ici d'une haute importance. Ainsi, le goût s'est trouvé aboli après la destruction de la cinquième paire, comme dans les faits rapportés par Parry, Bishop et Romberg. Une compression exercée sur le nerf lingual donna lieu au même phénomène : chez le sujet de cette observation, qui avait perdu le goût et la sensibilité de tout un côté de la langue, le commencement de la troisième branche était altéré par une petite tumeur, mais le glosso-pharyngien n'offrait rien d'anormal.

Je crois que le lingual est le principal nerf gustatif de la langue. Mon opinion repose sur les expériences de Magendie, de Gurlt et de Kornfeld, sur celles que j'ai faites moi-même, et sur les observations pathologiques de Parry, Bishop et Romberg. Mais je ne regarde pas comme prouvé que le nerf glosso-pharyngien soit sans participation à cette fonction dans le région postérieure de la langue et l'arrière-gorge. Romberg lui attribue la sensation du dégoût, qui protége l'entrée du système digestif.

CHAPITRE III.

De l'action des nerfs gustatifs.

Il y a impossibilité complète d'établir une théorie des phénomènes du goût. Ce qui constitue la qualité propre de ce sens, et le différencie de l'odorat, du toucher, de la vue, de l'ouïe, n'est pas moins inexplicable qu'à l'égard de tous les

autres. On ne saurait traduire l'essence du bleu, comme sensation; nous ne pouvons que sentir cette couleur, et il faut s'en tenir au fait que c'est une qualité propre aux nerfs spécifiques, si l'un voit le bleu, l'autre entend le son, un troisième sent les odeurs, etc. Mais les causes qui font que l'on parvient à distinguer plusieurs sensations dont un seul et même nerf est susceptible, peuvent être trouvées, comme elles l'ont été pour la vue et l'ouïe. On sait qu'un son diffère d'un autre par le nombre des vibrations, et qu'à chaque couleur correspond un certain nombre d'ondes dans un temps donné. Nous sommes bien loin encore d'une pareille théorie pour ce qui concerne le goût et l'odorat.

Bellini s'est servi de l'ancienne hypothèse de la forme diverse des molécules des corps pour expliquer les différentes saveurs. Théoriquement parlant, rien ne s'élève contre cette opinion; mais il n'y a pas moyen non plus d'en apporter la preuve. A l'époque où l'on croyait tout expliquer par les polarités chimiques, on fit aussi l'application de cette hypothèse de l'organe du goût.

Indépendamment du goût, la langue a encore un toucher très fin et très-juste: elle sent la chaleur, le froid, le chatouillement, la douleur, la pression, et par-là la forme des surfaces.

La faculté tactile peut exister dans la langue, et celle de goûter y être abolie, ou celle-ci s'exercer tandis que l'autre est perdue. Cette particularité rend probable qu'ici, comme dans le nez, les conducteurs des deux ordres de sensations ne sont point les mêmes. On conçoit très-bien qu'un même tronc nerveux pourrait contenir des fibres douées de qualités fort différentes,

Des faits qui ont déjà été exposés, il suit que le nerf lingual est la cause des sensations gustatives, mais les manifestations de vive douleur qui accompagnent la section de ce nerf mettent hors de doute qu'il est aussi le nerf sensitif de la langue.

Le sentiment appartient également au grand hypoglosse, en outre de sa propriété motrice.

Comme beaucoup de substances portent de l'odeur, en même temps qu'elles ont de la saveur, l'impression totale qu'elles produisent est souvent plus ou moins mixte. Mais, en pareil cas, il suffit de se boucher le nez pour découvrir la part qui revient à l'odorat. Certains vins délicats perdent beaucoup de leur finesse lorsqu'on se bouche le nez en les buvant.

D'après les expériences de Horn, toutes les substances ne paraissent pas produire la même saveur sur les diverses papilles de la langue, conclusion à laquelle on semble déjà devoir être conduit par la différence qui se fait souvent remarquer entre l'arrière goût et la saveur primitive. Horn a essayé une foule de substances dont les unes donnaient une même saveur dans toutes les régions de l'organe gustatif, et dont les autres en déterminaient une fort différente suivant qu'elles touchaient les papilles filiformes et les papilles fongiformes (1).

Les sensations consécutives sont très-prononcées, et durent souvent fort long-temps, dans l'organe du goût. La dégustation d'une substance change la saveur d'une autre. Lorsque j'ai mâché de la racine de roseau aromatique, le lait et le café me semblent aigres ensuite; la saveur des choses douces altère le goût du vin, que celle du fromage rehausse. Il en est donc ici comme des couleurs, dont une exalte la sensation de celle qui lui est opposée ou complémentaire. Je n'ai pu rapporter les oppositions des saveurs à des principes généraux, comme on l'a fait pour les couleurs; mais l'art culinaire a eu, dans tous les temps, le talent empirique de profiter des consonnances dans leur succession et leur association, de même que la musique et la peinture ont mis en pratique les principes de l'harmonie, sans en connaître les lois.

(1) *Voy.*, pour les détails, HORN, *Ueber den Geschmackssinn des Menschen*, Heidelberg, 1825.

La répétition fréquente d'une même saveur l'émousse de plus en plus, comme une couleur nous paraît d'autant plus sale que nous la regardons plus long-temps. Un homme à qui l'on bande les yeux distingue d'abord le vin blanc et le vin rouge l'un de l'autre; mais il ne tarde pas à perdre cette aptitude, lorsqu'il les goûte tous deux à plusieurs reprises, ce dont chacun peut aisément se convaincre.

Lorsque les substances sapides ne font qu'entrer en contact avec l'organe, sans être promenées à sa surface, il leur arrive souvent de ne donner qu'une saveur très-confuse, ou même de n'en pas produire du tout. Au contraire, le goût devient plus parfait quand on fait mouvoir la substance entre la langue et le palais, qu'on l'y frotte, qu'on l'y applique à plusieurs reprises. Ici, ou le mouvement rend l'impression plus forte, comme il arrive dans l'odorat, ou bien le fait dépend du rapide émoussement des molécules nerveuses, qui rend nécessaire de promener la substance sapide pour la mettre sans cesse en rapport avec de nouvelles molécules non encore fatiguées.

Les saveurs subjectives sont encore peu connues. Outre la sensation de dégoût, déterminée par toute irritation mécanique de la base de la langue et du voile du palais, il faut ranger ici l'observation précédemment citée de Henle, celle qu'un courant délié d'air provoque une sensation gustative, et qu'on ressent la saveur acide et la saveur alcaline en armant la langue de deux métaux hétérogènes, mis en contact l'un avec l'autre. J'ai déjà dit que ce phénomène ne paraissait pas pouvoir être expliqué par la décomposition des sels de la salive.

Les changemens du sang semblent agir sur le goût, de même que les narcotiques introduits dans ce liquide modifient la vue. Magendie a remarqué que des Chiens dans les veines desquels il avait injecté du lait, se léchaient les lèvres avec leur langue. Tout porte à croire qu'un changement intérieur des nerfs peut en déterminer un aussi dans le sens du

goût, et faire naître des saveurs particulières ; mais ces saveurs sont difficiles à distinguer de celles qui tiennent à des causes objectives hors de la langue, c'est-à-dire à des modifications du mucus buccal.

Section cinquième.

Du sens du toucher.

Le sens du toucher a bien plus d'étendue que les autres. Toutes les parties dans lesquelles il y a possibilité de sentir la présence d'un stimulus, depuis le simple sentiment jusqu'aux modifications de la douleur et du plaisir, toutes celles qui sont susceptibles des sensations de chaleur et de froid, appartiennent à ce sens. Les causes extérieures qui provoquent de telles sensations sont les changemens de température et les impressions tant mécaniques que chimiques et électriques. Mais ces sensations s'étendent à la totalité du système animal et du système organique, bien que leur netteté varie à l'infini dans les diverses parties. Le sens du toucher pénètre même dans les organes d'autres sens, où il dépend de nerfs autres que ceux qui président à la sensibilité spécifique ; ainsi il y a sensation tactile à l'œil, dans l'oreille, dans le nez, dans l'organe gustatif. Les nerfs des sensations tactiles sont les racines postérieures, ganglionnées à leur origine, des nerfs du système vertébral, système auquel se rapportent tous les nerfs de la moelle épinière et une partie de ceux du cerveau. Les filets sensitifs qui constituent ces racines, passent pour la plupart dans les nerfs du système animal ; quelques uns, néanmoins, se rendent dans ceux du système organique. Ils procurent les sensations tactiles vives dans les premiers, et les sensations tactiles vagues ou sourdes dans les secondes. La sensibilité générale, appelée *cœnœsthesis*, n'offre rien de particulier :

ce n'est que le toucher dans les parties internes, toucher dont le mode est susceptible d'une infinité de modifications; en santé, depuis le sentiment du bien-être jusqu'à la volupté et au chatouillement, en maladie, depuis la lassitude jusqu'à la douleur.

I. Étendue et organes du toucher.

Le tact proprement dit, ne diffère pas, quant à son essence, du toucher envisagé d'une manière générale. La différence tient uniquement aux rapports de l'organe, soit avec le monde extérieur, soit avec le reste de l'organisme. Toute partie ayant la sensibilité tactile, qui se trouve placée à la surface, jouit du tact, en ce sens qu'elle peut recevoir la sensation de corps extérieurs. Elle possède cette aptitude à un d'autant plus haut degré, que la faculté de distinguer est plus perfectionnée en elle, et qu'elle-même peut se mouvoir. En conséquence, les organes du tact sont la peau entière, mais surtout les mains, la langue, les lèvres, notamment chez les Chats et les Phoques, où ces appendices sont munis de longs poils, ayant un germe auquel de nombreux nerfs communiquent une grande sensibilité; le nez chez les animaux pourvus d'une trompe, les tentacules des Mollusques, les antennes et les palpes des Insectes, les appendices digitiformes des nageoires pectorales des Trigles, dont les nerfs naissent même d'une série de lobules ou renflemens particuliers de la moelle épinière.

A la peau, l'organe du tact est le corps papillaire, assemblage de petites inégalités visibles à la loupe, que le tissu de Malpighi enveloppe en manière de gaîne, et auxquelles aboutissent les nerfs.

De plus amples développemens sur les organes du tact appartiennent à l'anatomie comparée.

Les parties pourvues de la sensibilité tactile générale sont certaines régions du système nerveux lui-même, les nerfs spinaux, et, par eux, la plupart des organes.

Dans les organes centraux, il y a des parties qui semblent être privées de toute sensibilité, comme la surface des hémisphères, dont une foule d'exemples attestent que les plaies ne causent aucune douleur ni chez l'homme, ni chez les animaux. Toutes les fois qu'à la suite de plaies de tête, il a fallu pratiquer, chez des sujets en parfaite connaissance, l'ablation d'une partie de la surface de l'encéphale, soit parce qu'elle faisait hernie, soit parce qu'elle avait subi une altération quelconque, l'opération n'a été nullement sentie.

D'autres parties des organes centraux possèdent, au contraire, une sensibilité très-développée. Mais les sensations qu'elles éprouvent ne sont pas partout du genre de celles du toucher.

Quand les parties centrales du sens de la vue viennent à être irritées, elles déterminent des sensations de lumière. On sait, depuis long-temps, qu'en comprimant le cerveau d'un homme, on lui fait voir des lueurs et des éclairs. Cependant il y a aussi des régions de l'encéphale qui sont susceptibles de sensations tactiles ordinaires. Quoique plus d'un mal de tête ne dépende que d'une sensation éprouvée dans les nerfs des tégumens extérieurs, il n'en est pas moins possible que l'on ressente de la pression et de la douleur dans le cerveau ; c'est ce qu'attestent les cas d'affections chroniques de ce viscère dans lesquels le malade avait un sentiment plus ou moins net du lieu où le changement de texture s'était opéré.

Dans la portion spinale du cerveau et dans la moelle épinière il n'y a pas d'autres sensations que celles du genre des tactiles. Ces sensations sont éprouvées, avec le caractère de douleurs ou de fourmillemens, tantôt dans le lieu même de leur siège objectif, savoir au milieu du dos, tantôt dans les parties extérieures auxquelles se rendent les nerfs rachidiens. Les fourmillemens et les douleurs ont quelquefois lieu sans qu'il se manifeste aucune sensation locale au dos. La cause de cette particularité remarquable est inconnue.

Les lois qui président à la sensation dans les nerfs, lorsque ces organes deviennent le siége d'une irritation, peuvent être passées ici sous silence, puisque tout ce qui les concerne a déjà été exposé dans la physique des nerfs.

Le tissu corné et le tissu dentaire sont complétement insensibles, à l'exception de leurs germes, auxquels se rendent et des nerfs et des vaisseaux. L'agacement des dents par les acides doit donc être considéré comme une affection du follicule dentaire. Cependant la structure tubuleuse de la substance de ces osselets permet de concevoir la possibilité d'une transmission de l'acide au germe par les tubes capillaires, soit qu'il agisse sur la portion de la dent qui n'est pas couverte d'émail, soit qu'il s'introduise à travers les fissures que ce dernier présente si souvent.

Les tendons, les cartilages et les os ne sont point sensibles dans l'état de santé. Les nombreuses expériences de Haller l'ont démontré sans réplique. Elles ont prouvé aussi que le périoste est également insensible. La dure-mère semble toutefois faire exception : du moins est-il certain qu'elle possède des nerfs. Dans les maladies, les os peuvent devenir très-douloureux, comme aussi les organes du système chylopoïétique, auxquels se distribue le grand sympathique, et qui n'ont qu'une faible sensibilité chez l'homme en santé.

La sensibilité est bien moindre dans les muscles qu'à la peau, comme on peut le constater en piquant avec une épingle les tégumens et les masses musculaires. La peau elle-même offre, à cet égard, de grandes différences, tenant vraisemblablement au nombre des fibres nerveuses qui se répandent dans ses diverses régions ; j'en ai donné la preuve précédemment, en rapportant les faits dont on doit la découverte à E. H. Weber. Les régions de la peau où l'on perçoit une faible distance entre deux points irrités, sont aussi, d'après les observations de cet anatomiste, ceux où l'on distingue le plus sûrement les différences de la température et les poids

des corps appliqués sur les tégumens : la pression d'un poids posé sur la face palmaire des doigts paraissait plus forte que celle du même poids posé sur la peau du front. La sensibilité est très-grande dans les membranes muqueuses qui font partie du système respiratoire, des organes sensoriels, des parties génitales, et dépendent des nerfs du système animal ; elle est beaucoup plus faible dans celles du canal intestinal, où cependant elle peut se développer au plus haut degré par l'effet de la maladie. Les systèmes cutanés interne et externe diffèrent encore l'un de l'autre, sous le rapport du mode de leurs sensations, en ce que le sentiment subjectif de formication, qui provient de causes internes, et qui s'observe si fréquemment dans les affections de la moelle épinière, paraît n'avoir lieu qu'à la peau, et ne point se manifester dans les membranes muqueuses.

II. Modes ou énergies du toucher.

Le mode des sensations tactiles est tout aussi particulier que celui des autres organes sensoriels. La manière dont ce sens annonce la présence d'une irritation, depuis l'affection la plus légère jusqu'à la plus intense, n'est ici ni son, ni lumière ou couleur, etc., mais ce quelque chose indescriptible qu'on appelle sentiment, et dont les modifications ne dépendent souvent que de l'étendue des parties affectées. Ainsi, par exemple, les élancemens annoncent une affection violente de parties peu étendues, la douleur gravative une affection moindre, mais plus étendue et plus profonde. Cette dernière circonstance distingue le sentiment de la pression de celui du simple attouchement.

La sensation de choc ou de coup naît d'un changement brusque de l'état des nerfs par une cause externe ou interne, par l'influence mécanique d'un corps, ou par la rupture de l'équilibre électrique. Un courant de principe nerveux qui s'échappe soudainement du cerveau, dans l'effroi, peut aussi

être senti comme coup ou comme choc. Le mode de cette sensation ne dépend donc point de l'action mécanique d'un corps.

Une répétition rapide de chocs provoque, dans quelques autres sens, des sensations particulières, dont la qualité dépend de la succession des secousses, comme dans le sens de l'ouïe, et, à ce qu'il paraît aussi, dans celui de la vue. Ce mode d'excitation n'exerce, au contraire, aucune influence sur les sens de l'odorat et du goût. Comment celui du toucher se comporte-t-il à son égard ?

Une succession rapide de chocs égaux, tels que ceux qui sont nécessaires pour produire la sensation d'un son musical, est sentie comme tremblement par le sens du toucher. C'est ainsi qu'on sent non seulement la résonnance d'un corps solide, mais encore un son excité dans l'eau, lorsqu'on plonge dans ce liquide la main tenant un corps solide, par exemple un morceau de bois. Si la sensation des vibrations est plus forte, et si elle a lieu dans des parties irritables, telles que les lèvres, elle peut avoir l'expression commune ou générale du chatouillement, tel qu'on l'éprouve quand on approche de ses lèvres un diapason vibrant. La même sensation se manifeste aisément aussi à la langue par l'effet des vibrations. On pourrait être induit par-là à conjecturer que le chatouillement provoqué par d'autres causes, comme les attouchemens, les mouvemens de l'escarpolette, et la volupté qui s'en rapproche beaucoup, sont également accompagnés de vibrations d'une vitesse déterminée du principe nerveux lui-même dans les nerfs. La sensation du chatouillement et de la volupté est possible dans toutes les parties du corps soumises au sens du toucher en général ; elle est développée au plus haut degré dans les parties génitales, moindre au sein de la femme, aux lèvres, à la peau et dans les muscles.

La sensation de la douleur paraît être déterminée par la violence de l'excitation du toucher.

Celle du froid et du chaud se manifeste surtout par suite d'un changement d'état de la matière, que la chaleur physique détermine dans les parties animales ; mais elle a lieu aussi dans des circonstances où nulle modification de la température n'est appréciable à l'aide du thermomètre, par un désaccord dans les nerfs, et les sensations soudaines du froid glacial et d'ardeur brûlante paraissent se ressembler beaucoup.

Au reste, quand on compare, au moyen du toucher, les températures de milieux différens, il faut avoir égard à la capacité des corps pour la chaleur physique. Une même température agit avec bien plus de force sur notre peau, et nous semble beaucoup plus chaude lorsqu'elle a pour véhicule l'eau, au lieu de l'air. L'eau froide nous paraît plus froide aussi que l'air à la même température, parce qu'elle soustrait plus rapidement la chaleur à notre corps.

III. Toucher et idée.

Une sensation tactile arrive toujours à la conscience lorsque le *sensorium commune* y fait attention ; sans cette circonstance le phénomène organique de la sensation a bien lieu, mais il n'est pas remarqué. L'intention rend aussi plus nettes les sensations que procure le toucher. Une douleur devient d'autant plus pénible que l'attention s'y attache davantage. Une sensation insignifiante par elle-même peut également acquérir par là une durée très-fatigante : c'est ce qui arrive, par exemple, aux démangeaisons qui surviennent dans un point très-limité de la peau. Lorsqu'une personne lance de la salive au visage de ses interlocuteurs, l'idée de la salive rend la sensation plus vive et plus insupportable.

Par le concours de l'imagination et l'usage de l'expérience acquise, nous en venons à placer ce que nous sentons tantôt au dedans et tantôt au dehors de nous mêmes. Rigoureusement parlant, on ne peut sentir que l'état de ses nerfs, qu'il ait d'ailleurs été provoqué par une cause interne ou par une cause

externe. Quand nous sentons quelque chose, ce n'est pas la chose extérieure elle-même, mais seulement la main mise en contact avec l'objet; l'idée de la cause extérieure fait que nous donnons à ce que nous sentons le nom du corps qui détermine en nous cet effet. J'ai fait connaître la manière dont nous acquérons l'idée du monde extérieur par opposition à notre propre corps. La notion d'objets tactiles repose, en dernière analyse, sur la possibilité de distinguer les diverses parties de notre corps comme occupant une place différente dans l'espace. La distinction devient plus nette et plus sûre par l'usage du sens. Elle acquiert un tel degré de certitude chez l'adulte, que, même dans le cas où les parties de notre corps ont une position forcée, si nous ne faisons pas attention à cette circonstance, nous nous représentons les sensations suivant le même ordre relatif que les parties d'où elles émanent conservent entre elles dans l'état normal. De là le phénomène, connu déjà d'Aristote, qu'une boule roulant entre les deux doigts superposés de la même main, procure la sensation de deux surfaces sphériques opposées, qui semblent appartenir à deux boules différentes.

L'extension d'une sensation tactile à une grande surface produit sur nous, toutes choses égales d'ailleurs, l'effet d'une impression plus intense que celle qui résulterait de la même sensation bornée à une petite partie. Lorsque Weber plongeait la main entière dans de l'eau chaude, celle-ci lui semblait plus chaude que quand il y enfonçait un doigt seulement. On peut répéter l'épreuve en se baignant dans l'eau froide et chaude.

Comme chaque sensation s'accompagne d'une idée, et en laisse une après elle, qui peut être reproduite, l'idée d'une sensation est comparable à une sensation réelle. Ainsi un poids nous semble plus lourd ou plus léger qu'un autre que avons soulevé auparavant, et dont l'idée subsiste encore en nous au moment où nous sentons le second. E.-H. Weber est

même parvenu à percevoir distinctement la différence de deux poids ou de deux températures mis en contact l'un après l'autre avec sa main, comme s'ils étaient sentis simultanément par les deux mains. Mais la capacité de comparer s'affaiblit d'autant plus qu'un laps de temps plus long s'écoule entre la première sensation et la seconde.

IV. Toucher et mouvement.

Les muscles jouissent aussi d'un certain degré de sensibilité tactile, qui peut s'accroître beaucoup dans le cas d'affection maladive de leurs nerfs. Cette sensation n'est pas toujours en raison directe de la contraction des muscles, et de là on peut conclure, avec vraisemblance, que ce ne sont pas les mêmes fibres nerveuses qui président au mouvement et au sentiment de ces organes. Ainsi, par exemple, la sensation de crampe dans les muscles du mollet peut être très-vive, et le mouvement extrêmement faible. On observe quelquefois la même chose au muscle digastrique de la mâchoire inférieure, pendant le bâillement : lorsqu'on éprouve le besoin de bâiller plusieurs fois de suite, il n'est pas rare qu'après un bâillement très considérable, le ventre antérieur de ce muscle soit pris d'un spasme fort douloureux; mais alors le mouvement du bâillement a cessé, et le mouvement convulsif est beaucoup plus faible qu'il ne l'était quelques momens auparavant.

La sensation de contraction dans les muscles nous permet de comparer leur force quand nous résistons à une pression ou quand nous soulevons des fardeaux. Suivant Weber, la sensation des poids est plus prononcée que celle d'une simple pression. Cet écrivain assure que l'on perçoit encore une différence existant entre deux poids, qui ne s'élève pas à plus d'un trentième ou d'un quinzième de l'un d'eux. Il ne s'agit point ici de l'étendue absolue, mais seulement de l'étendue relative de la différence. Au reste, il n'est pas bien certain

que l'idée de la force employée à la contraction musculaire dépende uniquement de la sensation. Nous avons une idée très-exacte de la quantité d'action nerveuse partant du cerveau qui est nécessaire pour produire un certain degré de mouvement. Nous employons, pour soulever un vase dont la capacité nous est connue, un effort qui est calculé d'avance d'après une simple idée. Si par hasard la pesanteur du contenu dépasse nos prévisions, comme lorsque ce contenu est du mercure, le vase nous échappe, ou il fait promptement baisser la main qui cherchait à le soulever, parce que nous avons commis une erreur dans la prévision de la quantité de contraction ou d'action nerveuse dont nous aurions besoin. La même illusion se produit quand nous montons un escalier obscur, et que nous calculons nos mouvemens pour franchir une marche qui n'existe pas. Il serait très-possible que l'idée du poids et de la pression, dans le cas où il s'agit soit de soulever, soit de résister, fût, en partie au moins, non pas une sensation dans le muscle, mais une notion de la quantité d'action nerveuse que le cerveau est excité à mettre en jeu. La certitude de n'avoir pas assez de force pour tenir plus long temps un poids, doit aussi être bien distinguée du véritable sentiment de lassitude dans les muscles.

La même idée se représente dans les sensations accompagnées de mouvement. La sensation de mouvement est très-faible quand nous faisons agir la main, et les personnes qui ne connaissent point la situation des muscles chargés d'accomplir un mouvement donné, ne soupçonnent même pas que le mouvement des doigts s'exécute à l'avant-bras. Cependant l'idée de l'effet du mouvement dans l'espace a une grande précision, et celle qu'elle fait naître de la corporalité et de la forme d'une chose dépend en grande partie de l'idée que nous avons de l'effet du mouvement. Il peut donc très-bien se faire que, sans avoir besoin du sentiment pour cela, le sensorium sache juger de l'espace parcouru par le mouvement

volontaire, d'après les groupes de fibres nerveuses vers lesquelles afflue le courant du principe nerveux. Ce qu'il y a de plus merveilleux, c'est l'assurance avec laquelle nous mesurons nos efforts, soit pour maintenir notre propre corps ou des corps extérieurs que nous soutenons en équilibre sur un point d'appui peu étendu, soit pour exécuter les mouvemens volontaires ou involontaires qui déplacent notre corps entier.

Le palper n'est autre chose qu'un toucher volontaire avec mouvement. Entre lui et le toucher, il y a le même rapport qu'entre flairer et sentir une odeur. Toute partie sensible qui peut, par des mouvemens, varier ses points de contact avec les corps extérieurs, est susceptible de palper. Le palper n'appartient donc à aucune région du corps exclusivement : seulement la main y est plus propre que toute autre partie, en raison de sa structure, parce que les mouvemens de pronation et de supination qu'elle peut exécuter lui permettent de mesurer l'espace à l'aide d'une sorte de rotation, parce que le pouce est opposable aux autres doigts, et parce que ceux-ci jouissent d'une mobilité relative. L'aptitude à palper dépend, en outre, de la finesse du toucher, et de l'isolation de la sensation dans les molécules de l'organe sensible. Les sillons réguliers du creux de la main, et la disposition des papilles cutanées en séries, doivent accroître la délicatesse du toucher; car ces inégalités découvrent plus aisément celles des corps, et sont plus facilement affectées par elles isolément les unes des autres.

Lorsque nous nous formons, par le toucher, l'idée de la forme et de l'étendue d'une surface, nous multiplions l'étendue de la main ou du doigt mis en contact avec cette surface, autant de fois qu'elle se trouve contenue dans l'espace que le membre mobile parcourt en palpant. Pour acquérir l'idée de l'étendue dans l'espace, nous répétons le même acte suivant les différentes dimensions du corps.

V. Sensations consécutives et contrastes du toucher.

Les sensations consécutives du toucher sont très-vives et persistent long-temps. Tant que dure l'état dans lequel le stimulus a mis l'organe, les sensations de celui-ci continuent, bien que le stimulus soit depuis long-temps éloigné. Les sensations, tant douloureuses que voluptueuses, en fournissent des exemples.

Ce qui a été dit des oppositions entre les sensations, quand nous avons parlé de la vue, s'applique également au toucher. Lorsqu'on est demeuré pendant quelque temps exposé à une température élevée, le moindre abaissement du thermomètre nous fait éprouver du froid, dans un lieu même qui, en toute autre circonstance, nous semblerait chaud. Une différence brusque de quelques degrés suffit, quand la chaleur a été soutenue auparavant, pour faire naître la sensation d'un froid glacial. Aussi l'homme est-il très-sujet à se refroidir dans tous les climats, même les plus chauds. Le froid et le chaud sont purement relatifs. Le chaud est froid, pour la sensation, suivant l'état dans lequel se trouve l'organe. La diminution d'une douleur qui durait depuis long-temps nous semble un bienfait, quoique l'irritation continue encore à un degré qui nous paraîtrait insupportable dans l'état de santé.

VI. Sensations tactiles subjectives.

De tous les sens, le toucher est celui où les sensations subjectives provoquées par des causes internes sont le plus fréquentes. Les sentimens de plaisir, de douleur, de froid, de chaud, de légèreté, de pesanteur, de fatigue, etc., tous peuvent être déterminés par des états intérieurs. Les névralgies, le frissonnement, la formication, les états des organes génitaux qui surviennent spontanément pendant le sommeil, en sont des exemples frappans. L'accroissement de l'afflux du

sang vers ces organes se fait sentir dans presque tous les sens, et dans chacun d'une manière correspondante à l'énergie du nerf spécifique, comme figure lumineuse dans le nerf optique, comme sifflement ou bourdonnement dans l'oreille, comme pulation dans les nerfs tactiles. Cette sensation a des causes mécaniques; mais elle peut être provoquée par un états des nerfs dans des parties où le pouls ne se fait d'ailleurs point sentir. Il faut également ranger ici les sensations tactiles provocables par l'imagination. De même que l'idée d'une chose dégoûtante détermine souvent le dégoût, de même aussi l'idée de la douleur appelle fréquemment celle-ci dans une partie qui y est prédisposée. Lorsqu'un organe se trouve exposé à la sensation d'un courant dans son intérieur, cette sensation reparaît, long-temps après que le courant a cessé, quand on y pense. L'idée d'une chose propre à faire frissonner, détermine la sensation tactile du frisson. La tension de l'esprit, l'émotion, l'extase occasionent chez certaines personnes un sentiment de concentration au sommet de la tête, et un frissonnement par tout le corps. Lorsqu'on éprouve de l'effroi, on a des sensations dans un grand nombre de parties du corps. La seule idée du chatouillement suffit pour en faire naître la sensation chez les personnes chatouilleuses, lorsqu'elles voient quelqu'un faire mine de les chatouiller.

Les sensations tactiles subjectives ont lieu surtout chez les personnes dont le système nerveux est très-irritable, chez les hystériques et les hypochondriaques, auxquels on reproche quelquefois d'accuser des maux imaginaires. Si l'on entend par-là que leurs douleurs existent seulement dans leur imagination, on se trompe beaucoup. La douleur n'est jamais une chose imaginaire; due à une cause interne, elle est tout aussi vraie que quand elle provient d'une cause extérieure. Il n'y a que l'idée de la douleur qui soit sans sensation; mais personne ne se plaint d'avoir cette idée. Au reste, une imagination exaltée peut accroître une douleur existante, et, si la



personne est prédisposée à une douleur, rappeler celle qui s'est déjà fait sentir.

Les sympathies du toucher avec les autres sens et avec les mouvemens ont lieu par réflexion ; il en a été question dans le chapitre consacré aux effets de cette dernière. Le conflit des sensations tactiles avec les sécrétions a été discuté aussi dans la physique des nerfs.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Les figures que je donne sont destinées à faciliter l'intelligence de mes expériences sur la voix. En ce qui concerne les détails anatomiques, je renvoie aux ouvrages d'anatomie, savoir, pour les Mammifères, aux travaux de Wolff et de Brandt, pour les Oiseaux, à l'excellent travail de Savart, pour les Reptiles, aux recherches de Mayer et de Henle, enfin pour plusieurs classes, à celles de Humboldt.

Les changemens que le larynx subit chez les Mammifères ne se rapportent pas tous à la production de la voix, qui, dans ces animaux, a lieu d'après les mêmes lois que chez l'homme; ils sont principalement destinés à des effets de résonnance, et, sous ce point de vue, n'ont pas besoin d'explication spéciale.

Fig. 1 et 1′ expliquent le chevalet antérieur et le chevalet postérieur des cordes vocales, chez l'homme.

Fig. 1. αβγδ. Chevalet antérieur, cartilage thyroïde.

a. b. c. Chevalet postérieur, cartilage aryténoïde.

b. d. e. Cartilage cricoïde, sur lequel les chevalets se meuvent.

c. o. Corde vocale.

δ. Point d'appui du chevalet antérieur.

δ. o. Ligne tirée du point d'appui à l'insertion de la corde vocale, qui représente le bras du levier.

oγ. Cordon imitant le muscle thyro-aryténoïdien.

Fig. 1′. Ici les deux chevalets sont représentés par de simples lignes, qui expriment les bras du levier.

Dans les deux figures, *m*, *n* sont des muscles, les tracteurs du chevalet antérieur et du chevalet postérieur, pour la ten-

sion des cordes vocales, le crico-thyroïdien et le crico-aryténoïdien postérieur. *x*, *fig.* 1, est le ligament crico-thyroïdien élastique, qui tend également en tirant sur le chevalet antérieur.

Fig. 2. Elle représente la préparation du larynx pour les expériences dans lesquelles la tension des cordes vocales doit avoir lieu en sens horizontal, ou plus exactement suivant la direction de leur longueur. Les deux cartilages aryténoïdes sont liés ensemble sur une forte épingle qui les traverse, et fixés sur la colonne *f*. Cette ligature a pour but de fermer la partie postérieure de la glotte.

a. Cartilage aryténoïde (la pointe est coupée).

b. Reste du cartilage thyroïde, dont la plus grande partie a été enlevée.

c. Cartilage cricoïde.

d. Corde vocale. Tout ce qui se trouvait au dessus d'elle a été enlevé.

e. Membrane interne du larynx; le ligament crico-thyroïdien, situé en cet endroit, et qui met obstacle à la tension des cordes vocales dans la direction de leur longueur, doit être enlevé.

Fig. 2'. La préparation précédente vue par le haut.

aa. Les bases des cartilages aryténoïdes liées ensemble et fixées sur une épingle.

b. Reste du cartilage thyroïde.

c. Cartilage cricoïde.

dd. Cordes vocales.

ee. Muscles thyro-aryténoïdiens.

Fig. 3. Préparation du larynx pour les expériences dans lesquelles on emploie le cartilage thyroïde comme chevalet. Les lettres ont la même signification. Les cartilages aryténoïdes sont liés, comme à l'ordinaire. Leur partie supérieure, celle du cartilage thyroïde et tout ce qui se trouve au dessus des cordes vocales, a été enlevé. De cette manière, les côtés

des cordes vocales sont devenus libres, et l'on peut appliquer les branches du compresseur.

Fig. 3'. La préparation précédente vue en dessus.

aa. Bases des cartilages aryténoïdes liées ensemble sur une épingle.

b. Cartilage thyroïde.

c. Cartilage cricoïde.

d. Cordes vocales.

e. Muscles thyro-aryténoïdiens.

Comme la paroi postérieure des cartilages aryténoïdes, dans leur position moyenne, n'est point sur le même plan que celle du cartilage cricoïde, il convient, en les fixant au poteau, de les diriger en arrière, afin que leur fixation ne détermine pas déjà une tension des ligamens de la glotte.

Pour produire les sons les plus graves de la voix humaine, et amener le relâchement des cordes vocales qu'ils exigent, il est bon non seulement que le cartilage cricoïde puisse se rapprocher des cartilages aryténoïdes, mais encore que ceux-ci puissent se porter en avant. Dans ce mouvement, leurs apophyses antérieures s'enfoncent davantage.

On conçoit que, pour les expériences sur la voix de poitrine, il faut prendre des larynx d'hommes. Du reste, la différence dans la forme des larynx d'hommes et de femmes dépend uniquement de la longueur des cordes vocales. Ces ligamens étant plus longs chez l'homme que chez la femme, d'un tiers environ, il fallait que le chevalet antérieur, ou le cartilage thyroïde, s'évasât davantage sous la forme d'un angle. Telle est la seule cause de la saillie anguleuse qu'il présente chez l'homme. D'ailleurs, j'ai également observé, chez l'homme adulte, une grande diversité dans la longueur des cordes vocales, et même dans la largeur de la trachée.

Fig. 4. Les petits muscles du larynx vus de haut en bas. Le cartilage thyroïde a été excisé; il n'en reste plus que la partie *b*. Les cartilages aryténoïdes sont coupés jusqu'à leurs bases.

a. Apophyse antérieure du cartilage aryténoïde.

a' Apophyse externe du même.

c. Cartilage cricoïde.

d. Cordes vocales.

e. Muscle thyro-aryténoïdien.

f. Muscle crico-aryténoïdien latéral. Il fait tourner le cartilage aryténoïde sur son axe, et rapproche l'une de l'autre les apophyses antérieures des deux cartilages, afin de clore, avec le secours du muscle aryténoïdien *g*, la partie postérieure de la glotte, qui ne sert point à la voix.

Fig. 5. Appareil pour la compression latérale des ligamens de la glotte, lorsqu'on veut produire la voix de poitrine.

a. Tige à laquelle la pince *f* est fixée ; c'est la tige *a* de la *fig*. 6.

b. Traverse sur laquelle la pince peut se mouvoir d'arrière en avant et d'avant en arrière, au moyen de la pièce *c*, ce qui permet de lui donner la position convenable par rapport à la longueur des cordes vocales, comme en *b* de la *fig* 6.

d. Vis servant à fixer la pièce *c*.

e. Vis servant à fixer la tige *a*, afin de pouvoir placer la pince juste à la hauteur des cordes vocales.

f. Pince, dont les branches ont cinq à six lignes de large.

Fig. 6. Appareil pour faire des expériences sur la voix avec le larynx humain.

N. Pilier servant à fixer le larynx et le compresseur *a b f*.

u. Tuyau pour souffler.

v. Manomètre qui communique avec *u*.

M. O. Piliers pour fixer les poulies *x'* et *y'*.

x. Cordon servant à tendre les cordes vocales, qu'il tire dans la direction de leur longueur ; il passe sur la poulie *x'*.

y. Cordon servant à détendre les cordes vocales et à les réduire au minimum de tension que le ligament crico-thyroïdien leur procure par son élasticité ; il passe sur la poulie *y'*.

z. Cordon pour tendre les cordes vocales, en exerçant une

traction de haut en bas sur le chevalet antérieur ou le cartilage thyroïde.

Fig. 7. Compresseur à l'aide duquel on peut mesurer la position des branches *g h*, qui s'ajustent dans une rainure de la face inférieure de la pièce *a b*.

c. d. Vis servant à rapprocher et éloigner les branches *g h*; les pas de vis marchent en sens inverse.

e. Saillie qui indique la position de la branche *g* par rapport à l'échelle *f*.

La tige à laquelle ce compresseur est fixé s'adapte à la pièce *c d e* de la *fig.* 5.

De cette manière, le compresseur peut être fixé à l'appareil de la *fig.* 6 en *b*, comme la pince de la *fig.* 5, et on lui donne la position qu'on juge nécessaire.

Fig. 8. Compresseur pour les expériences sur le larynx inférieur des perroquets. La branche *g* est fixe; la branche *h* est mobile dans une charnière en *o*. La pièce *m o* peut avancer et reculer; on la fixe au moyen de la vis *n*. La tige s'adapte à la pièce *c d e* de la *fig.* 5, et peut, au moyen de *c* dans cette même figure, être fixée sur la pièce *b*; *s* est un cordon servant à mouvoir la branche *h*; il passe sur une poulie, et peut être chargé de poids.

Fig. 9. Compresseur à deux branches mobiles, pour les expériences sur la voix de poitrine avec le larynx humain. Les pièces *c d*, sur lesquelles les branches *e f* se meuvent à charnière, sont mobiles dans une fente de la pièce *a b*, et peuvent être fixées à l'aide de vis; *g h* sont des cordons qu'on peut charger de poids, et qui meuvent les branches l'une vers l'autre.

Fig. 10. Appareil pour les expériences sur la voix de poitrine, avec compression mesurable des cordes vocales au moyen du compresseur *fig.* 9.

Fig. 11. Compresseur pour les expériences sur la voix de poitrine avec des larynx auxquels tiennent encore l'arrière-

gorge, la bouche et le canal nasal. Les branches *a b* se placent sur les côtés des cordes vocales.

Fig. 12. Appareil complet pour ces expériences, avec le compresseur *fig* 11.

a. Pharynx.

b. Hyoïde.

c. Cartilage cricoïde.

d. Reste du cartilage thyroïde, servant à fixer le cordon *e*, qui tend les cordes vocales.

Fig. 13. Larynx inférieur du *Psittacus ararauna*, vu de côté.

a. Os semi-circulaire, qui se meut en manière de valvule sur le tympan *c*.

b. Cartilage semi-circulaire inférieur.

a' b'. Membrane vocale, qui, en *x*, forme un angle en dedans.

Fig. 14. *a b*. Muscles qui tirent les bronches de bas en haut, rendent les angles en *x* plus aigus, et les rapprochent l'un de l'autre.

c. Muscles qui tirent de dedans en dehors les os semi-circulaires, rendent les angles en *x* plus obtus, et dilatent la glotte.

d. Muscle de la trachée-artère.

Fig. 15. Position des parties pendant l'action des muscles *c*.

Fig. 16. Position du larynx de perroquet dans le compresseur *a b*, pour les expériences au moyen de l'appareil *fig.* 8. On souffle par la trachée-artère.

Fig. 17. Tubes en verres, dont les bouts, coupés obliquement, sont en partie couverts de baudruche.

Fig. 18. Union de ces tubes avec un tube court et plus large, pour renforcer le son.

Fig. 19. Position de deux tubes par lesquels on souffle en même temps, et dont l'un est pourvu d'une membrane vocale en baudruche.

Fig. 20. Coupe horizontale du larynx de Pipa.

a. Tambour.

b. Cartilage vocal.

c. Ouverture des bronches.

Fig. 21. Imitation du larynx de Pipa. Le tube *b* peut être introduit dans le tube *a*, qui est fermé en *d*, de manière qu'il ne reste là qu'une petite fente. A l'extrémité antérieure du tube *b*, la languette métallique *c* est fixée sur une courroie transversale ; l'extrémité de cette languette s'étend jusqu'au voisinage de la fente *d*.

Fig. 22. Cartilage aryténoïde *a* de la Grenouille mâle, avec la corde vocale *b*.

Fig. 23 et 24. Isthme supérieur ou larynx du Sapajou, qui se prolonge en un tube assez long.

Fig. 23. Coupe du larynx de l'*Ateles arachnoïdes*.

a. Cartilage thyroïde.

b. Cartilage cricoïde.

c. Cartilage aryténoïde.

d. Epiglotte.

e. Cartilage de Wrisberg renflé en un coussin épais. Entre *d* et *c* se trouve le canal tubuleux du larynx.

f. Corde vocale inférieure ou proprement dite. Elle a un bord supérieur très-tranchant.

g. Corde vocale supérieure, située très-profondément et en dehors.

Fig. 24. Larynx de l'*Ateles arachnoïdes*, vu de côté ; la moitié du cartilage thyroïde est enlevée.

a. Cartilage thyroïde.

b. Cartilage cricoïde.

c. Cartilage aryténoïde. *c'* l'extrémité supérieure, correspondante au cartilage de Santorini, s'unit avec celle du côté opposé, et forme la lèvre inférieure du tube.

d. Épiglotte. *d'* prolongement qu'elle envoie au cartilage aryténoïde, ou de Santorini. L'épiglotte forme la lèvre supé-

rieure du tube ; les prolongemens *d'* de l'épiglotte, avec les cartilages de Santorini, forment la lèvre inférieure.

e. Masse cartilagineuse molle de Wrisberg.

f. Région des cordes vocales.

Le larynx des Sapajous se distingue par cette particularité que la cavité laryngienne s'allonge, au dessus des ligamens inférieurs de la glotte, en un tube recourbé. Ce tube se dirige d'abord de bas en haut, puis d'avant en arrière. La paroi antérieure est formée par le cartilage thyroïde, la supérieure par l'épiglotte, la postérieure par la portion ascendante du tube, et l'inférieure de la portion transversale par les pelotes appliquées l'une contre l'autre des grands cartilages de Wrisberg. Comme ces pelotes se continuent avec le pourtour antérieur des cartilages aryténoïdes, lorsque ceux-ci se rapprochent pour clore la partie postérieure de la glotte, elles se serrent l'une contre l'autre, de manière qu'il ne reste plus à l'air d'autre passage que le long canal entre le cartilage thyroïde, l'épiglotte et les pelottes. Les lèvres du canal, qui s'ouvre en arrière dans le pharynx, sont en haut l'épiglotte, en bas les extrémités réunies des cartilages aryténoïdes. On parvient aisément à allonger ce tube en y ajoutant des tubes en verre de longueur diverse ; j'ai fait des expériences en ce sens, mais je n'ai produit aucun changement appréciable dans la hauteur des sons. Le long canal du larynx paraît donc avoir plutôt pour but de donner de l'éclat à la voix. En posant le doigt sur son orifice, je faisais baisser chaque son d'un semiton. L'intonation a lieu au moyen des dispositions ordinaires.

Quand le larynx entier était coupé en long, et qu'on dirigeait le courant d'air d'un petit tube au devant d'une des cordes vocales, dans le sens de l'axe du larynx, on obtenait d'assez bons sons. Les cordes vocales ont leurs bords supérieurs tranchans, et parlent avec une grande facilité.

Fig. 25. Coupe longitudinale du larynx et de l'appareil à résonnance du *Mycetes ursinus*.

a. Cartilage thyroïde.

b. Cartilage cricoïde.

c. Cartilage aryténoïde. *c'*, son extrémité, unie avec celle du côté opposé, pour former la lèvre inférieure de l'orifice du larynx.

d. Épiglotte. Elle forme le couvercle du canal tubuleux et recourbé du larynx, au dessus des cordes vocales. L'extrémité *d'* forme la lèvre supérieure de l'extrémité de ce canal.

e. La grande masse molle du cartilage de Wrisberg, unie avec le cartilage aryténoïde. Elle forme une pelote, qui, lorsque les cartilages aryténoïdes se rapprochent l'un de l'autre, pour clore la partie postérieure de la glotte, s'applique à la pelote du côté opposé.

d e. Canal entre l'épiglotte et les pelotes.

f. Ligament inférieur de la glotte.

g. Ligament supérieur de la glotte. Il n'est pas fixé au cartilage thyroïde, mais à la racine de l'épiglotte, et fait corps avec la pelote; il forme un ruban très-solide, élastique, descendant en ligne droite, entre le ventricule de Morgagni et la partie médiane de la cavité laryngienne.

Le sinus entre *f* et *g* mène entre le cartilage thyroïde et les parois de la cavité médiane du larynx, dans le sac membraneux *g*, qui est le prolongement du ventricule de Morgagni.

Au devant de la racine de l'épiglotte se trouve, entre deux ligamens qui attachent l'épiglotte au cartilage thyroïde, l'entrée *i* du sac impair *i'*, qui, en *k*, revêt la cavité de l'hyoïde *l l l*.

m. Le sac laryngé observé par Brandt. Il a son entrée au côté de l'ouverture supérieure du larynx, et fait saillie entre l'épiglotte et le cartilage thyroïde.

Fig. 26. Coupe de haut en bas à travers le larynx et les ven-

tricules de Morgagni du *Mycetes ursinus*, suivant la ligne *x y* de la figure 25. Segment postérieur. Les lettres ont la même signification que dans la figure précédente.

e e. Les pelottes appliquées l'une contre l'autre.

d e. Le canal du larynx entre l'épiglotte et les pelottes formant la paroi inférieure.

Fig. 27. Segment antérieur de la coupe précédente. Les lettres ont la même signification que dans la figure 25. Entre la racine de l'épiglotte *d* et le cartilage thyroïde *a* se trouve l'entrée du sac impair de l'hyoïde *i*.

g. Continuation des ligamens supérieurs de la glotte, ou des rubans élastiques qui les remplacent, avec l'épiglotte.

Les appareils de résonnance, chez les Singes hurleurs, sont doubles; d'un côté, des membranes, des os et des cartilages; d'un autre côté, l'air renfermé dans ces parties. Les rubans élastiques partagent la cavité laryngienne en un tube médian et deux cavités latérales. Le canal médian sert au mouvement progressif de l'air, aussi bien qu'à la résonnance; les sacs latéraux et le sac hyoïdien servent à la résonnance de l'air. La résonnance de ces masses d'air doit être rendue plus facile par les rubans élastiques qui bordent l'entrée des sacs. La résonnance du son d'une anche posée sur un réservoir d'air reproduit exactement ce qui a lieu ici. On peut aussi se convaincre, par des expériences, que ces appareils servent à fortifier la voix. Je produisis des sons, à la manière ordinaire, avec un larynx entier de Singe hurleur, dont l'appareil de résonnance était en parfaite intégrité, et je comparai la force que ces sons, toutes choses égales d'ailleurs, avaient lorsque je permettais à l'air de remplir les sacs, ou lorsque, comprimant le col de ceux-ci avec des pinces, je ne leur permettais pas de s'emplir. Dans le premier cas, ils étaient beaucoup plus forts et hurlans. Les cordes vocales de l'animal, dont le bord supérier est très-tranchant, donnent aussi, à elles seules,

des sons très-vifs, dans le larynx coupé en travers, lorsqu'on fait passer un courant d'air au devant d'elles.

On peut faire des expériences sur le larynx des Singes, et en général de tous les animaux, en se servant de pièces conservées dans l'alcool, pourvu qu'on ait soin de les plonger auparavant dans l'eau pendant quelque temps. Je conserve ainsi, et je m'en sers dans l'occasion, des larynx d'hommes, que j'ai préparés, et que j'ai trouvé propres à servir dans les expériences sur la voix.

Fig. 28. Larynx ouvert de l'*Alligator lucius*.

a. Corde vocale.

b. Cartilage cricoïde.

c. Bandelette cartilagineuse arquée sur laquelle repose la corde vocale.

d. Hyoïde.

e. Membrane muqueuse au dessus de l'hyoïde.

Fig. 29 à 39. Elles expliquent les expériences sur les anches en caoutchouc et sur les larynx artificiels construits d'après le type de celui de l'homme.

Fig. 29 à 31. Anches à une seule lèvre de diverses espèces.

Fig. 32. Tuyau d'anche à deux lèvres horizontales, avec des tuyaux allongeant la colonne d'air en avant et en arrière des lèvres. C'est quand les languettes sont perpendiculaires au courant, comme dans le cas présent, que la colonne d'air en change le plus facilement le son.

Fig. 33. Anche bilabiée en caoutchouc, dont les lèvres sont appliquées l'une à l'autre par leurs faces. Les pinces servent à maintenir les lèvres d'un côté. La fixation des lèvres de l'autre côté n'est pas absolument nécessaire.

Fig. 34. Anche bilabiée, avec des pinces fixant les deux extrémités de la glotte.

Les appareils 33 et 34 sont destinés à être unis à des tuyaux, pour apprendre à connaître l'influence de l'air.

Fig. 35. Tuyau d'anche bilabié, dont les lèvres ont leurs faces tournées l'une vers l'autre, et dont les tubes servent à allonger et raccourcir la colonne d'air. J'ai remarqué que quand les lèvres ont les faces tournées l'une vers l'autre, comme dans le cas présent, la colonne d'air qui passe devant et derrière les languettes exerce souvent fort peu, et même parfois n'a pas du tout d'influence sur le changement du son de l'anche. Ces anches à lèvres adossées par leurs faces, et à isthme qui va en se rétrécissant peu à peu vers la glotte, sont celles qui ont le plus d'analogie avec l'organe vocal humain, dans lequel la colonne d'air qui passe devant et derrière les lèvres n'a non plus presque aucune influence sur la hauteur du son.

Fig. 36. Anches à lèvres analogues sur lesquelles les pinces peuvent être à volonté éloignées au moyen d'une vis, ou rapprochées à l'aide d'un ressort, pour accroître et diminuer la tension.

Fig. 37 à 39. Imitation du larynx humain.

Fig. 37. Pièces en laiton. *a* cartilage cricoïde. *b* chevalet antérieur, mobile en *b'* dans une articulation. *c*. chevalet postérieur, mobile en *c'*, dans une articulation. Le chevalet postérieur est une pince courbe, dont les branches se rapprochent au moyen d'une vis. *d* pince analogue, qui est fixée au pourtour antérieur du chevalet antérieur, sans être mobile dans une articulation.

La vis *e* peut presser le chevalet antérieur d'arrière en avant.

Fig. 38. Préparation de l'anche bilabiée en caoutchouc, avec les faces tournées l'une vers l'antre, et liée sur un tube. On unit cet appareil à celui de la figure 37, et l'on enferme dans les pinces les extrémités antérieure et postérieure des lèvres.

De là résulte le larynx humain artificiel, figure 39, qu'on peut unir au manomètre.

On peut remplacer le caoutchouc par de grosses artères.

Dans tout ces appareils à deux lèvres en caoutchouc qui se regardent par leurs faces, la glotte peut être assez largement ouverte, sans que les sons cessent de sortir avec une grande force.

FIN.

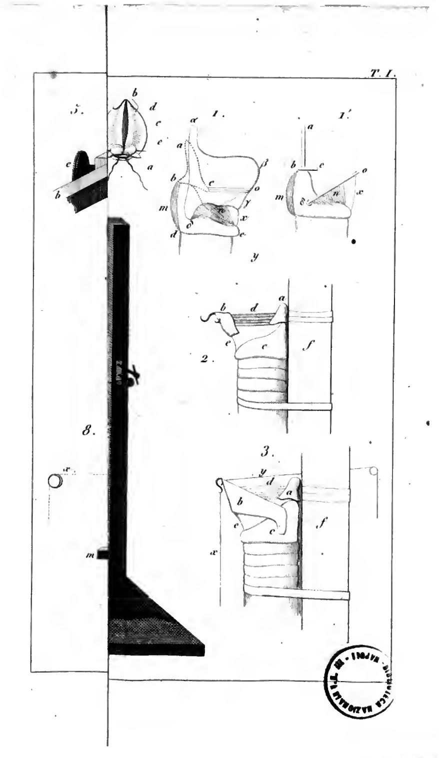


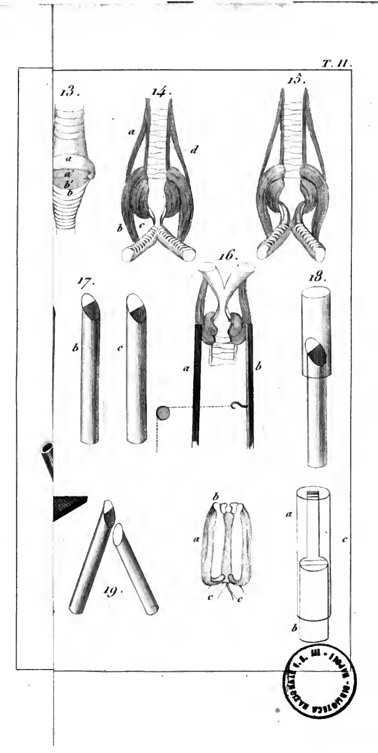
TABLE

DU TOME SECOND.

FIN DE LA TABLE DU SECOND VOLUME.




T. I.
5.
b
d
c
e
a
e
b
1.
α
a
β
b
c
o
γ
m
n
x
δ
d
e
y
1'
a
b
c
o
m
n
x
δ
a
b
d
e
c
f
2.
3.
y
d
a
b
e
c
f
x
8.
x
m

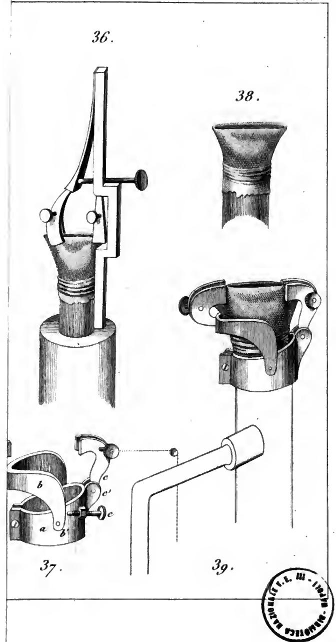

T. II.
13.
a
a'
b'
b
14.
a
d
b
c
15.
16.
17.
b
c
a
b
18.
19.
b
a
c
c
a
c
b





25.

l
i
d
d
a
e
c
f
h
d
g
a
f
b


36.
38.
b
c
c'
a
b'
e
37.
39.







